ISSN 2223–2966

СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

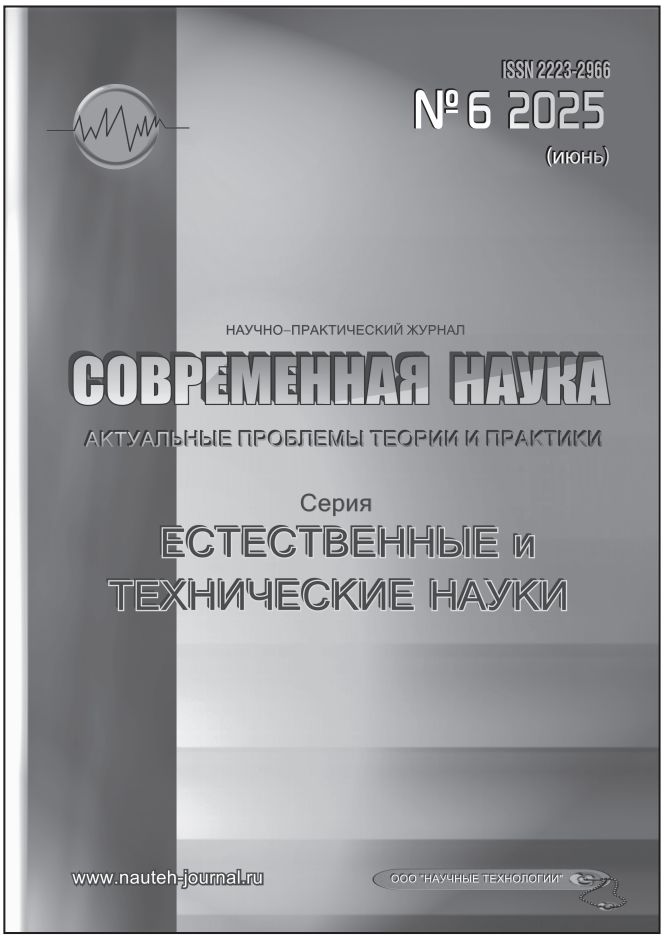
ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 6 2025 (ИЮНЬ)

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.x, 2.3.x, 3.1.x)



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.

В НОМЕРЕ:

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

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
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.

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 17.06.2025 г. Формат 84x108 1/16
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966

© Журнал Современная наука: актуальные проблемы теории и практики: Серия «Естественные и Технические науки»

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 ступени 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. Серикбаева

Корнеев Андрей Мастиславович — 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

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

Общая биология

Польских С.В., Грызлов В.А. — Технологические аспекты повышения продуктивных качеств коров черно-пестрой голштинской породы с применением зернового мицелия Pleurotus ostreatus
Polskikh S., Gryzlov V. — Technological aspects of improving the productive qualities of Holstein black-and-white cows using Pleurotus ostreatus grain mycelium 8

Трунова С.А., Нурмагомедова С.Г., Гаджиева У.М., Арсланкадиева М.М., Абдулаева Х.Р. — Изучение флоры парка 50-летия Октябрьской революции г. Махачкалы и анализ антропогенного воздействия
Trunova S., Nurmagomedova S., Gadzhieva U., Arslankadieva M., Abdulayeva Kh. — Study of the flora of the park of the 50th anniversary of the October revolution in Makhachkala and analysis of anthropogenic impact.....13

Трунова С.А., Нурмагомедова С.Г., Магомедова У.А., Бартыханова Х.М., Магомедов С.Т. — Государственное регулирование ветеринарно-санитарных норм в контексте предотвращения экологических угроз
Trunova S., Nurmagomedova S., Magomedova U., Bartykhanova Kh., Magomedov S. — State Regulation of Veterinary and Sanitary Standards in the Context of Preventing Environmental Threats.....17

Информатика, вычислительная техника и управление

Азаб Мохамед Абдалла Эльсайед, Коржук В.М. — Интеллектуальная система аутентификации личности на основе ЭКГ с применением глубокого обучения
Azab Mohamed Abdalla Elsayed, Korzhuk V. — Intelligent ECG-based biometric authentication system using deep learning techniques 22

Алексеева Е.С., Трушин С.М. — Разработка нейронной сети для классификации сгенерированных текстов в образовательных учреждениях
Alekseeva E., Trushin S. — Development of a neural network for classification of generated texts in educational institutions.....30

Амбросов И.А. — Интеллектуальная рекомендательная система для маршрутизации пациентов по симптомам
Ambrosov I. — Intelligent recommendation system for patient routing based on symptoms 41

Антоновская О.Г., Бесклубная А.В. — К исследованию квазигармонического осциллятора с комбинированным сухим и вязким трением асимптотическим методом
Antonovskaya O., Besklubnaya A. — Towards the study of the dynamics of a quasi-harmonic oscillator with combined dry and viscous friction by an asymptotic method 48

Арновати Мохамед Мехди Махмуд, Заитер Муродж Фадхиль Заитер — Управление запасами на основе искусственного интеллекта для технологических компаний, использующих данные о продажах видеоигр
Arnawtee Mohammed Mahde Mahmood, Zaiter Murooj Fadhil Zaiter — Artificial intelligence-based inventory management for technology companies using video game sales data 53

Беляков А.А. — Применение малых беспилотников для автоматизации деятельности складского комплекса
Belyakov A. — The use of light uavs for warehouse automatisation 61

Бергер Е.Г., Кириллина Ю.В., Поремов Е.С. — Особенности проектирования информационной системы планирования рабочего времени персонала торговых сетей
Berger E., Kirillina Yu., Poremov E. — Features of designing an information system for scheduling the working hours of retail chain staff.....66

Будников Д.А. — Прогнозирование инцидентов в системах защиты информации
Budnikov D. — Forecasting incidents in information security systems 72

Бурый А.С. — Анализ уровня освещенности поверхности на основе компьютерных методов обработки информации с использованием машинного обучения
Buryi A. — Surface illumination level analysis based on computer information processing methods using machine learning 77

Быстров А.И. — Прогнозирование совокупного эффекта промо-акций на основе методов машинного обучения
Bystrov A. — Forecasting the cumulative effect of promotional campaigns using machine learning methods 83

Виноградова М.В., Горячкин Б.С., Литвинович Л.В. — Особенности применения B-tree индексов в постреляционных базах данных на примерах postgresql и mongodb
Vinogradova M., Goryachkin B., Litvinovich L. — The effectiveness of the principles of adaptive layout in the development of user interfaces 88

Гао Тяньцы, Ян Бо, Жао Шэнжэнь — Обучение робота-манипулятора безопасному обходу препятствий: планирование, имитация и подкрепление
Gao Tianci, Yang Bo, Rao Shengren — Training robotic manipulators for safe obstacle avoidance: planning, imitation, and reinforcement. 98

Горячкин Б.С., Стрихар П.А., Бондаренко И.Г., Хижняков В.М. — Эргономический анализ менеджеров пакетов в веб-разработке
Goryachkin B., Strikhar P., Bondarenko I., Khizhnyakov V. — Ergonomic analysis of package managers in web development 106

Горячкин Б.С., Калюта Н.И. — Коллаборативные роботы в складской логистике: оценка производительности и эргономические аспекты автоматизации
Goryachkin B., Kalyuta N. — Collaborative robots in warehouse logistics: performance evaluation and ergonomic aspects of automation 116

Гудков А.А. — Автоматизация технологических процессов в портах северного морского пути
Gudkov A. — Automation of technological processes in the ports of the northern sea route 122

Гудков А.А. — Обеспечение устойчивой связи в условиях северных широт, для применения в комплексных системах автоматизации морских портов северного морского пути
Gudkov A. — Ensure of stable communication in northern latitudes for use in complex automation systems of sea ports of the northern sea route. . . . 126

Дмитриева В.А., Шатов И.А., Батьяновна Д.Д., Федоров В.В. — Анализ паттернов нейронной сети на основе языковой модели gpt-3.5 во время применения злоумышленниками в целях фишинга
Dmitrieva V., Shatov I., Batyanova D., Fedorov V. — Analysis of neural network patterns in the gpt-3.5 language model during its use by malicious actors for phishing attacks 130

Ерёмин И.В. — Повышение точности идентификации важной для объекта аномалии нейросетевой моделью
Eremin I. — Improving the accuracy of identifying anomalies critical to an object using a neural network model. 134

Жаркова Е.Д., Манжула И.С., Вихтенко Э.М. — Разработка клиент-серверного приложения автоматизации бизнес-процессов филиала ФГУП «Главный радиочастотный центр»
Zharkova E., Manzhula I., Vikhtenko E. — Development of a client-server application for automation of business processes of the «General Radio Frequency Centre» Federal State Unitary Enterprise. 140

Зарькова Е.М. — Моделирование поведения энтропии в пространственно неоднородных статистических системах
Zarkova E. — Modeling of entropy behavior in spatially inhomogeneous statistical systems. 148

Иванова Л.В., Салиенко Н.В. — Особенности применения современных управленческих технологий устойчивого развития на предприятиях ОПК
Ivanova L., Salienko N. — Peculiarities of application of modern management technologies of sustainable development at enterprises of DIC 152

Ильин И.И. — Разработка и внедрение модуля универсального парсера отчетов о проведенном то для автоматизации учета отчетности в телекоммуникационной компании: архитектура и функциональность
Ilyin I. — Integration of external data sources into the accounting system of a telecommunication company: architecture and implementation 157

Ильин И.И. — Разработка и внедрение модуля универсального сборщика отчетов о проведенном то для автоматизации учета отчетности в телекоммуникационной компании: архитектура и функциональность
Ilyin I. — Development and implementation of a universal collector module for reports on conducted maintenance for automation of reporting in a telecommunication company: architecture and functionality 163

Исаева И.А., Габриелян Г.А., Потапова К.А. — Критерии автоматизируемости образовательного процесса для оценки интеллектуального потенциала обучающихся
Isaeva I., Gabrielyan G., Potapova K. — Educational process automatizability criteria for assessing the intellectual potential of students 172

Качалов С.К., Завьялов А.В. — Анализ способов интеграции технологических средств при тестировании и эксплуатации сложных информационных систем
Kachalov S., Zavjalov A. — Analysis of methods for integrating technological tools in the testing and operation of complex information systems 178

Клычков И.А., Еськин Д.Л. — Интеллектуальный анализ трафика в мультивендорных проводных сетях для обнаружения аномалий производительности
Klychkov I., Yeskin D. — Intelligent Traffic Analysis in Multivendor Wired Networks for Performance Anomaly Detection 184

Коченков А.А. — Применение технологий искусственного интеллекта в сфере услуг
Kochenkov A. — Application of artificial intelligence technologies in the service sector 188

Литвинов В.В., Павлов А.К. — Комплаенс, как важная составляющая процессов ИБ
Litvinov V., Pavlov A. — Compliance as an important component of information security processes 192

Мазуров М.Е., Слипченко А.В. — Прогнозирование нестационарных временных рядов на основе когнитивных технологий искусственного интеллекта
Mazurov M., Slipchenko A. — Forecasting of non-stationary time series based on cognitive artificial intelligence technologies 200

Местникова М.О. — Архитектура клиент-серверных взаимодействий в мобильных приложениях на Dart для коллективного обсуждения пеших маршрутов
Mestnikova M. — Architecture of client-server interactions in mobile applications on Dart for collective discussion of hiking routes 205

Попов В.В. — Разработка архитектур динамических GNN для моделирования эволюции социальных сетей: сравнительный анализ методов обработки временных графов изменений структуры социальных сетей в реальном времени
Popov V. — Development of dynamic GNN architectures for modeling the evolution of social networks: a comparative analysis of methods for processing temporal graphs of structural changes in social networks in real time 212

Скибин С.А. — Алгоритм экспертной системы проверки качества изготовления стальных труб
Skibin S. — Algorithm of the expert system for quality control of steel pipe manufacturing 216

Суздальский Д.А. — Анализ современных подходов к оценке комплексного показателя киберустойчивости
Suzdalsky D. — Analysis of modern approaches to assessing a comprehensive indicator of cyber-resistance 222

Суздальский Д.А. — Обоснование целесообразности оценки безопасности информационной инфраструктуры на основе комплексного показателя киберустойчивости
Suzdalsky D. — Substantiation of the expediency of assessing the security of information infrastructure based on a comprehensive cyber resilience indicator 232

Уланов К.А. — Самообучаемое формирование метрик качества данных для неизученных потоков
Ulanov K. — Self-learning formation of data quality metrics for unexplored streams 241

Чембарисов Э.М., Сметанина О.Н. — Использование нейронных сетей в вопросе учета твердых коммунальных отходов
Chembarisov E., Smetanina O. — The application of neural networks in the accounting of solid municipal waste 246

Шарара Симбараше — Теоретический анализ стабильности адаптивного управления экструзией для снижения выбросов при трехмерной печати методом послойного наплавления
Sharara Simbarashe — Theoretical analysis of the stability of adaptive extrusion control for emission reduction in fused deposition modelling three-dimensional printing 252

Шевцова Г.А., Добринов К.П. — Использование ИИ для обезличивания персональных данных при разработке ИС
Shevtsova G., Dobrinov K. — Use of AI for personal data department in IS development. 257

Клиническая медицина

Белотурова А.А., Овчаренко Е.Н., Непрелюк О.А., Северинова С.К., Ирза О.Л. — Роль коморбидной патологии в патогенезе заболеваний пародонта (обзор литературы)
Beloturova A., Ovcharenko E., Neplyuk O., Severinova S., Irza O. — The role of general somatic pathology in the pathogenesis of diseases of the mucous membrane and atrophy of the alveolar processes of the jaws. 262

Бир М.С. — Интегративный подход к анализу трехмерной ориентации и функциональной взаимозависимости оптической, вестибулярной и окклюзионной плоскостей
Bier M. — Integrative approach to the analysis of three-dimensional orientation and functional interdependence of optical, vestibular and occlusion planes 267

Гривенко С.Г., Голомидов А.Н., Калиниченко А.П., Усманова Т.Э. — Некоторые технические возможности профилактики троакарных грыж после лапароскопической холецистэктомии
Grivenko S., Golomidov A., Kalinichenko A., Usmanova K. — Some technical possibilities for prevention of troacar hernia after laparoscopic cholecystectomy 273

Киввa А.Н., Чубовский А.И., Евлахова И.С., Загреба И.В. — Современные подходы к диагностике и хирургическому лечению острых воспалительных заболеваний органов брюшной полости
Kivva A., Chubovskiy A., Evlakhova I., Zagreba I. — Modern approaches to the diagnostics and surgical treatment of acute abdominal inflammatory diseases. 278

Костылев К.А., Евглевский А.А., Костылев А.Н., Линченко С.Н., Онбыщ Т.Е. — Применение модели искусственного интеллекта в профилактике вторичных микст-инфекций в условиях активации кислороднезависимой антимикробной системы
Kostylev K., Evgenevsky A., Kostylev A., Linchenko S., Onbysh T. — Application of the artificial intelligence model in the prevention of secondary mixed infections in conditions of activation of the oxygen-independent antimicrobial system 286

Рогозянская М.И., Редькин А.Н., Жданов А.И. — Предиктивный анализ отдельных факторов риска ранних осложнений гастрэктомии у больных раком желудка
Rogozyanskaya M., Redkin A., Zhdanov A. — Risk factor analysis for early postoperative complications following gastrectomy in gastric cancer patients 291

Россоловская К.А., Трифонова Н.С., Брагина Е.Е., Гадаева И.В., Полиданов М.А., Спивак Л.Г. — Влияние биопленок урогенитального тракта на эффективность стандартной терапии рецидивирующего бактериального вагиноза
Rossolovskaya K., Trifonova N., Bragina E., Gadaeva I., Polidanov M., Spivak L. — Effect of urogenital tract biofilms on the efficacy of standard therapy of recurrent bacterial vaginosis 296

Сакович В.В., Дробот Д.Б., Ганкин М.И. — Снижение продольной деформации миокарда — ранний диагностический признак дисфункции желудочков при сложном врожденном пороке сердца (синдром berry). Описание клинического случая

Sakovich V., Drobot D., Gankin M. — Reduced global longitudinal strain is an early diagnstical sign of ventricular dysfunction in complex congenital heart device (berry syndrome). Description of a clinical case 303

Хмара А.Д., Капралов С.В., Полиданов М.А., Базаров Д.В., Волков К.А., Петрунькин Р.П. — Экспериментальное обоснование способа стимуляции спаечного процесса в плевральной полости у лабораторных животных
Khmara A., Kapralov S., Polidanov M., Bazarov D., Volkov K., Petrunkin R. — Experimental substantiation of the method of stimulation of adhesions in the pleural cavity in laboratory animals 309

Чумбуридзе И.П., Штильман М.Ю., Пирогов А.А., Нескоромный Д.Ю. — Опыт лечения гнойно-некротических осложнений после абдоминопластики
Chumburidze I., Shtilman M., Pirogov A., Neskoromny D. — Experience in the treatment of purulent-necrotic complications after abdominoplasty 316

Наши авторы 320

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.36

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ КАЧЕСТВ КОРОВ ЧЕРНО-ПЕСТРОЙ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗЕРНОВОГО МИЦЕЛИЯ PLEUROTUS OSTREATUS

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF IMPROVING THE PRODUCTIVE QUALITIES OF HOLSTEIN BLACK-AND-WHITE COWS USING PLEUROTUS OSTREATUS GRAIN MYCELIUM

S. Polskikh
V. Gryzlov

Summary. The present study examines the effect of the grain mycelium *Pleurotus ostreatus* grown on oats of the Skakun variety on the productive and physiological parameters of calves of the black-and-white Holstein breed. The positive dynamics of the average daily increase in body weight and improvement of blood biochemical parameters were established in the experimental group of animals receiving mycelium as part of the diet. The scientific novelty lies in the assessment of the effect of *P. ostreatus* mycelium as a functional feed additive in the early postnatal period. The results obtained indicate the high biological value of the drug and its potential in technology to increase the productivity of young cattle.

Keywords: black-and-white Holstein breed, *Pleurotus ostreatus*, mycelium, productivity, weight gain, blood biochemistry, feed additive.

Польских Светлана Валерьевна
кандидат биологических наук, доцент,
Воронежский Государственный Аграрный университет имени Императора Петра I
future29@yandex.ru
Грызлов Валерий Александрович
Воронежский Государственный Аграрный университет имени Императора Петра I
future29@yandex.ru

Аннотация. В настоящем исследовании рассматривается влияние зернового мицелия *Pleurotus ostreatus*, выращенного на овсе сорта «Скакун», на продуктивные и физиологические показатели телят черно-пестрой голштинской породы. Установлена положительная динамика среднесуточного прироста живой массы и улучшение биохимических параметров крови в экспериментальной группе животных, получавших мицелий в составе рациона. Научная новизна заключается в оценке действия мицелия *P. ostreatus* как функциональной кормовой добавки в раннем постнатальном периоде. Полученные результаты свидетельствуют о высокой биологической ценности препарата и его потенциале в технологии повышения продуктивности молодняка крупного рогатого скота.

Ключевые слова: черно-пестрая голштинская порода, *Pleurotus ostreatus*, мицелий, продуктивность, прирост массы, биохимия крови, кормовая добавка.

Введение

В современных условиях интенсификации животноводства значимость приобретает поиск экологически безопасных средств, способствующих повышению продуктивности сельскохозяйственных животных. Одним из перспективных направлений является использование продуктов биотехнологии, в частности мицелия съедобных базидиальных грибов, обладающего иммуностимулирующими, адаптогенными и гепатопротекторными свойствами (Тарнопольская и др., 2016; Lavelli и др., 2018).

Гриб *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная) широко используется в пищевой и фармацевтической промышленности, однако его применение в ветеринарии и кормопроизводстве остаётся ограниченным. Ранее было установлено, что включение продуктов микологического происхождения в рацион животных способствует улучшению обмена веществ, стимуляции роста и нормализации функций печени (Wang и др., 2019; Польских, 2023; Куликов и др., 2012). Мицелий, выращенный на злаковом субстрате, содержит высокую концентрацию белка, витаминов группы В, микроэлементов (в том числе цинка и меди), а также β-глюканов, обладающих выраженной иммуномодулирующей активностью (Antunes и др., 2020; Chang, Wasser, 2012).

Черно-пестрая голштинская порода, как одна из наиболее распространённых в России, характеризуется высокой молочной продуктивностью, но в раннем постнатальном периоде телята склонны к метаболическим нарушениям, включая гиповитаминозы, дефицит микроэлементов и дистрофические изменения в печени (Гавриченко и др., 2019). В этой связи актуально внедрение технологий, направленных на профилактику подобных состояний.

Цель исследования — определить влияние зернового мицелия *Pleurotus ostreatus*, выращенного на овсе сорта «Скакун», на клинико-физиологическое состояние, продуктивность и биохимические параметры телят черно-пестрой голштинской породы в возрасте от 60 до 180 суток.

Материалы и методы

Условия содержания и рацион

Эксперимент был проведён на телятах черно-пестрой голштинской породы в возрасте от 60 до 180 суток. Животные содержались в стандартных условиях, соответствующих нормативам ВНИИЖЖ и ветеринарно-санитарным правилам содержания крупного рогатого скота. Все телята были распределены на две группы: контрольную и экспериментальную, каждая из которых включала животных с идентичными стартовыми показателями массы и физиологического состояния. Рацион основывался на стандартной кормовой схеме с включением сена, комбикорма и примексов. В экспериментальной группе рацион дополнительно обогащали зерновым мицелием *Pleurotus ostreatus* из расчёта 1,5 % от массы корма. Животные контрольной группы получали тот же базовый рацион без мицелия.

Приготовление мицелия

Мицелий *Pleurotus ostreatus* выращивали на предварительно обработанном овсе сорта «Скакун». Субстрат подвергали отвариванию и автоклавированию при температуре 123 °C и давлении 1,2 атм в течение 1,5 часов, затем инокулировали маточной культурой гриба в стерильных условиях (доза инокуляции — 3 % от массы субстрата). Инкубация проводилась в стерильных боксах при температуре 24–26 °C в течение 14 суток, после чего мицелий сушили на инфракрасной сушилке при 50 °C и измельчали до однородной массы. Полученный препарат вносился в рацион животных однократно в сутки.

Клинико-физиологическое обследование

До начала эксперимента все животные прошли клинический осмотр по общепринятой методике (Шарабрин, 1985; Усевич, 2005). Осмотр включал: оценку состояния кожных покровов и видимых слизистых оболочек; перкуссию печени; пальпацию щитовидной железы и лимфоузлов; определение частоты дыхательных движений, пульса, температуры тела, тонов сердца. Дополнительно применялись ультразвуковая диагностика, рентгенография и электрокардиография (Загуменнов, Удод, 2015; Золотарёв и др., 2005).

Гематологические и биохимические исследования

В рамках эксперимента проводились:

- Общий анализ крови: скорость оседания эритроцитов (СОЭ), количество эритроцитов и лейкоцитов, концентрация гемоглобина, формула крови (лейкограмма), среднее содержание гемоглобина в эритроците (МСН).
- Биохимические исследования сыворотки крови: определяли общий белок, фракции белков, аланинаминотрансферазу (АлАТ), аспартатаминотрансферазу (АсАТ), общий и ионизированный кальций, неорганический фосфор, йод, цинк, медь, щелочной резерв, тиреоидные гормоны, иммуноглобулины, пробу Вельтмана.
- Исследование мочи: pH, относительная плотность, кетоновые тела, белок, билирубин.
- Исследование молока (у коров, подвергнутых выбраковке): содержание белка и жира.
- Анализ кормов: содержание микроэлементов и каротина.
- Патоморфология: гистологическое исследование ткани печени и щитовидной железы выбракованных животных.

Все лабораторные исследования проводились в аккредитованной БУВО «Воронежская областная ветеринарная лаборатория» (г. Воронеж, ул. Острогожская, д. 69).

Оценка прироста живой массы

Взвешивание телят проводилось каждые 30 дней. Фиксировались параметры живой массы (в кг) и рассчитывался среднесуточный прирост (г/сут).

Результаты и обсуждение

Результаты начального обследования телят представлены в Таблице 1.

У телят младшей возрастной группы наблюдались признаки функциональных нарушений печени (увеличение её размеров), что сопровождалось изменением тонов сердца и лимфоузлов. Эти данные коррелируют с УЗИ и гистологическими признаками гепатодистрофии, диагностированной у части животных. Постепенное снижение доли патологических признаков к 6 месяцам в экспериментальной группе, вероятно, связано с действием компонентов мицелия (в частности, аминокислот, меди, цинка, β-глюканов), обладающих гепатопротекторным и иммуномодулирующим действием (Chang, Wasser, 2012; Савельев и др., 2022).

Рост концентрации белка у телят экспериментальной группы (на пике — 72,3 г/л) отражает активацию синтетической функции печени.

Повышение уровней цинка и меди на фоне введения мицелия свидетельствует о высокой усвояемости микроэлементов из субстрата.

Таблица 1.

Результаты начального анализа обследование животных (телят) в возрасте от 4,5 до 6 месяцев

Показатель	4,5 мес.	5,5 мес.	6 мес.
Температура тела в норме	99,3	99,2	99,4
Температура выше 39,5 °C	0,7	0,8	0,6
Пульс в норме	89,3	90,5	93,2
Пульс >80 ударов/мин	10,7	9,5	7,8
Дыхательные движения в норме	91,3	92,5	93,4
Дыхание >25/мин	8,7	7,5	6,6
Нормальные тоны сердца	81,3	84,5	89,3
Глухие/удлинённые/расщеплённые тоны	18,7	15,5	10,7
Лимфоузлы в норме	78,1	84,5	89,7
Увеличение лимфоузлов	21,9	15,5	10,3
Печень в норме (по перкуссии)	86,1	93,2	95,2
Увеличение размеров печени	13,9	6,8	4,8
Щитовидная железа без изменений	93,2	94,5	96,3
Увеличение щитовидной железы	6,8	5,5	3,7

Таблица 2.

Биохимические параметры сыворотки крови телят (Источник: БУВО «Воронежская областная ветеринарная лаборатория», 2025)

Показатель	4,5 мес.	5,5 мес.	6,0 мес.
Кол-во обследованных животных	75	82	83,2
Общий белок, г/л	65,73	72,3	68,9
Общий кальций, ммоль/л	2,89	3,2	2,7
Неорг. фосфор, ммоль/л	1,59	2,56	2,3
Цинк, мкмоль/л	15,4	25,3	26,4
Медь, мкмоль/л	12,13	19,56	18,5
Йод, нмоль/л	324	123	118
Альбумины, %	41	39	37,2
α-глобулины, %	12,2	18,6	21,2
β-глобулины, %	10,74	7,5	8,5
γ-глобулины, %	10,45	11,23	12,3
АсАТ, Ед/л	52,1	211,3	125,3
АлАТ, Ед/л	6,3	7,8	5,4

АсАТ резко возрастает в 5,5 мес. (211,3 Ед/л), вероятно, как компенсаторный ответ на гипотрофию гепатоцитов. Однако к 6 месяцам наблюдается снижение, что может отражать восстановление тканевой структуры печени — эффект, опосредованный действием биоактивных веществ мицелия (β-глюканы, полисахариды) (Antunes и др., 2020).

Что касается снижения йода, то, вероятно, наблюдается относительная тиреоидная недостаточность, частично компенсированная поступлением меди и цинка, необходимых для синтеза тиреоидных гормонов.

Таблица 3.

Динамика живой массы и среднесуточного прироста телят

Возраст (сутки)	Контроль: масса, кг	Контроль: прирост, г	Эксперимент: масса, кг	Эксперимент: прирост, г
60	50–82	550–600	50–82	550–750
90	69–105	600–650	69–105	620–850
120	87–122	650–700	87–122	680–900
150	107–145	650–700	107–145	750–1025
180	127–167	650–700	127–167	800–1500

Введение мицелия *Pleurotus ostreatus* в дозе 1,5 % от веса рациона позволило достичь стабильного увеличения прироста живой массы (рис. 1). Разница между контрольной и экспериментальной группой к 180 суткам достигала до 800 г/сут в пользу группы, получавшей мицелий. Этот результат статистически достоверен ($p < 0,05$) и свидетельствует о выраженном анаболическом эффекте кормовой добавки. Учитывая отсутствие гипертермии и нормальные показатели СОЭ, можно утверждать, что прирост обеспечен метаболической активацией, а не реакцией на воспаление или стресс.

Заключение

Результаты проведенного исследования демонстрируют, что включение зернового мицелия *Pleurotus ostreatus*, выращенного на овсе сорта «Скакун», в рацион телят черно-пестрой голштинской породы в дозе 1,5% от массы корма оказывает выраженное положительное влияние на ряд физиологических и продуктивных показателей.

Наблюдалось достоверное повышение среднесуточного прироста живой массы у телят экспериментальной группы по сравнению с контрольной. Начиная с 90 суток жизни, телята, получавшие мицелий, демонстрировали прирост до 800–1500 г/сут, что значительно превышало показатели контрольной группы (550–700 г/сут). Такие темпы роста соответствуют индустриальным критериям продуктивности и позволяют оптимизировать сроки выращивания молодняка.



Рис. 1. Среднесуточный прирост массы у телят при введении в рацион мицелия *Pleurotus ostreatus*

На фоне введения мицелия регистрировалось улучшение клинико-физиологического состояния животных: уменьшение числа телят с глухими тонами сердца, увеличением лимфоузлов и нарушением перкуторной картины печени. Данные косвенно свидетельствуют о гепатопротекторном и адаптогенном действии компонентов мицелия.

Биохимические исследования показали улучшение белкового, минерального и ферментного обмена: повышение уровня общего белка, увеличение концентрации цинка, меди и фосфора, снижение активности АсАТ и нормализация соотношения белковых фракций. Эти изменения указывают на восстановление метаболической активности печени, иммунной системы и эндокринной регуляции.

Использование зернового мицелия Pleurotus ostreatus в рационах телят может быть рекомендовано как перспективная биологически активная добавка, направленная на: стимуляцию роста; улучшение обмена веществ; профилактику метаболических нарушений; повышение устойчивости молодняка к патологическим воздействиям.

Результаты создают предпосылки для внедрения данной технологии в практику промышленного животноводства и создают основу для дальнейших исследований по оптимизации доз, длительности применения и механизму действия мицелия в кормлении животных.

Таким образом, зерновой мицелий *Pleurotus ostreatus* может рассматриваться как функциональная кормовая добавка с высоким биологическим потенциалом, способная повысить продуктивность и физиологическую устойчивость молодняка крупного рогатого скота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гавриченко Н.И. и др. Полноценное кормление, коррекция нарушений обмена веществ и функций воспроизводства у высокопродуктивных коров. — 2019.
2. Загуменнов А., Удод Д. Ультразвуковая диагностика в ветеринарной медицине //В мире научных открытий. — 2015. — С. 58–60.
3. Золотарёв А.И., Рецкий М.И., Ильина Н.А. Способ терапии энтералгии у телят. — 2005.
4. Куликов В.Н., Куликов Н.Е., Квартникова Е.Г. Питательная ценность мицелия гриба Aspergillus niger для норок и влияние мультиэнзимного комплекса на переваримость питательных веществ //Достижения науки и техники АПК. — 2012. — №. 4. — С. 44–46.
5. Польских С.В. Иммунологические показатели крови поросят при применении пробиотика «Витафорт» в смеси с зерновым мицелием вешенки обыкновенной. — 2023.

6. Тарнопольская В.В., Алаудинова Е.В., Миронов П.В. Перспективы использования базидиальных грибов для получения кормовых продуктов //Хвойные бореальной зоны. — 2016. — Т. 34. — №. 5–6. — С. 338–341.
7. Усевич В.М. Методы клинического исследования сельскохозяйственных животных //Екатеринбург: Уральская ГСХА. — 2005.
8. Шарабрин И.Г. Внутренние незаразные болезни с.-х. животных //М.-«Агропромиздат». — 1985. — 386 с.
9. Antunes F. et al. Valorization of mushroom by-products as a source of value-added compounds and potential applications //Molecules. — 2020. — Т. 25. — №. 11. — С. 2672.
10. Chang S.T., Wasser S.P. The role of culinary-medicinal mushrooms on human welfare with a pyramid model for human health //International journal of medicinal mushrooms. — 2012. — Т. 14. — №. 2.
11. Lavelli V. et al. Circular reuse of bio-resources: The role of Pleurotus spp. in the development of functional foods //Food & function. — 2018. — Т. 9. — №. 3. — С. 1353–1372.
12. Wang L. et al. Physicochemical properties and bioactivities of original and Se-enriched polysaccharides with different molecular weights extracted from Pleurotus ostreatus //International Journal of Biological Macromolecules. — 2019. — Т. 141. — С. 150–160.

© Польских Светлана Валерьевна (future29@yandex.ru); Грызлов Валерий Александрович (future29@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.44

ИЗУЧЕНИЕ ФЛОРЫ ПАРКА 50-ЛЕТИЯ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ Г. МАХАЧКАЛЫ И АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

STUDY OF THE FLORA OF THE PARK OF THE 50TH ANNIVERSARY OF THE OCTOBER REVOLUTION IN MAKHACHKALA AND ANALYSIS OF ANTHROPOGENIC IMPACT

S. Trunova
S. Nurmagomedova
U. Gadzhieva
M. Arslankadieva
Kh. Abdulayeva

Summary. The purpose of this work is to study the problems of landscaping parks using the example of studying the flora of the park named after the 50th anniversary of the October Revolution in Makhachkala and analyzing anthropogenic impact.

Keywords: flora, research, park, vegetation, analysis.

Трунова Саният Акаевна
Кандидат биологических наук, доцент, Дагестанский государственный медицинский университет, г. Махачкала
saniatakaeva@mail.ru
Нурмагомедова Саният Гаджиевна
Кандидат медицинских наук, доцент, Дагестанский государственный медицинский университет, г. Махачкала
nurma.san@yandex.ru
Гаджиева Умукусум Магомедмасаровна
Дагестанский государственный медицинский университет, г. Махачкала
ugadzhieva@icloud.com
Арсланкадиева Мадина Мухтаровна
Дагестанский государственный медицинский университет, г. Махачкала
m_mukhtarovna@mail.ru
Абдулаева Хадижа Рустамовна
Дагестанский государственный медицинский университет, г. Махачкала
abdulayeva-k-00@mail.ru

Аннотация. Целью данной работы является исследование проблем озеленения парков на примере изучения флоры парка имени 50-летия Октябрьской революции г. Махачкалы и анализа антропогенного воздействия.

Ключевые слова: флора, исследование, парк, вегетация, анализ.

Введение

Несмотря на то, что флора парков, расположенных на территории города Махачкалы, исследовалась и ранее, изучение флоры парка Октябрьской революции стало актуальной для охраны её ценных видов от антропогенного воздействия и улучшения её дендрологического состава.

В настоящее время атмосфера города Махачкалы сильно загрязняется в связи с увеличением численности населения и количества автотранспорта загрязняющих воздух выхлопными газами. Для того чтобы, отчистить воздух от выхлопных газов машин, заводов, необходимо решить такие вопросы, как разведение парков, садов и лесных полос. Особенно, большое значение имеют зеленые насаждение для города Махачкалы с его засушливым климатом и сильными ветрами. Деревья и кустарники задерживают пыль, уменьшают силу ветра, снижают летние высокие температуры, выделяют летучие вещества — фитонциды. Только один тополь за год удаляет из атмосферы до 300 килограммов пыли и других загрязнителей воздуха. Вот и надо подумать, справедливо ли ругать это растение за то, что оно несколько дней в году, в период цветения беспокоит нас своим пухом, хотя и можно избегать этого путем посадки мужских особей.

Цель исследования состояла в изучении дендрологического состава парка, а также выявления основных экологических проблем парка, для их дальнейшего решения.

Материалы и методы исследований

В данной статье были использованы различные методы исследования: полевые-маршрутные, описательный, социологический, сравнительный. Несмотря на то, что флора парков, расположенных на территории горо-

да Махачкалы, исследовалась и ранее, изучение флоры парка Октябрьской революции стало актуальной для охраны её ценных видов от антропогенного воздействия и улучшения её дендрологического состава.

В настоящее время атмосфера города Махачкалы сильно загрязняется в связи с увеличением численности населения и количества автотранспорта загрязняющих воздух выхлопными газами. Для того чтобы, отчистить воздух от выхлопных газов машин, заводов, необходимо решить такие вопросы, как разведение парков, садов и лесных полос. Особенно, большое значение имеют зеленые насаждение для города Махачкалы с его засушливым климатом и сильными ветрами. Деревья и кустарники задерживают пыль, уменьшают силу ветра, снижают летние высокие температуры, выделяют летучие вещества — фитонциды. Только один тополь за год удаляет из атмосферы до 300 килограммов пыли и других загрязнителей воздуха. Вот и надо подумать, справедливо ли ругать это растение за то, что оно несколько дней в году, в период цветения беспокоит нас своим пухом, хотя и можно избегать этого путем посадки мужских особей.

Результаты и их обсуждения

Большое внимание мы уделили декоративным качествам, исследованию биологии роста, развитию декоративных растений, особенностям их цветения и плодоношения. Декоративные растения представляют собой большую группу древесно-кустарниковых и травянистых форм, используемых для внешнего и внутреннего озеленения. Флора парка в основном представлена деревьями и кустарниками, среди них такие вечнозеленые как, Голубая ель, Самшит вечнозеленый и Биота восточная.

Исследования показали, что во флоре исследуемого парка в значительном количестве находятся деревья и кустарники, характеризующее теплолюбивость флоры. а среди диких плодовых растений хорошо приспособлены такие как, Абрикос и Груша обыкновенные

Изучению флоры в Дагестане придается большое значение. Имеются общие сведения по анализу дикорастущей флоры. Установлены общие закономерности формирования и становления флоры Дагестана в целом. Большое внимание уделяется исследованию биологических, фитоценотических, географических свойств естественной флоры. Богатая флора и разнообразная растительность Дагестана издавна привлекают к себе внимание многих ботаников. Еще в конце 18 и начале 19 вв. отдельные естествоиспытатели проникали в этот край и совершали свои экспедиции. Здесь побывали. Этими исследователями было выявлено и описано много новых для науки видов, более 200 эндемов, многие из которых дагестанского происхождения.

В Дагестане также были проведены флористические исследования многими учеными, такими как П.Л. Львов по растительности и флоре, «Растительный покров Дагестана» в 1987, Лепехина А.А. «Флора и растительность Дагестана» в 2002, И.А. Гурлев «Природные зоны Дагестана» в 1972.

Многие ученые пришли к выводу, что при использовании различных приемов агротехники можно добиться увеличения количества цветков, листьев, подземных органов и семенной продуктивности. Имеются обзорные работы по декоративным растениям открытого грунта. Слабо изученными являются эколого-биологические качества, а также декоративные качества и способы выращивания дикорастущих декоративных растений в условиях сильного засоления в Дагестане.

Флора Дагестана обладает исключительным разнообразием видового состава, что объясняется сочетанием своеобразных исторических и физико-географических условий. Город Махачкала относится к центральному приморско-террасированному, аккумулятивному району. Город расположен на западном берегу Каспийского моря, у подножия горы Тарки-Тау.

Соотношение различных таксономических групп в исследуемой флоре дает представление о свойствах этой флоры. Систематические группы растений отражают их биологию и экологию, характер и интенсивность их исторического развития. Строение цветка и плода определяют особенности их приспособления, защиты от неблагоприятных погодных и климатических условий, приспособления к опылению цветков и распространению плодов, и прорастанию семян. В связи с этим, зная значение видов и других таксономических групп и сопоставляя их с приуроченностью их к определенным типам растительности и регионам на земле, можно дать каждой из них систематическую характеристику.

Во флоре парка Октябрьской революции города Махачкала нами было выявлено 62 вида растений, которые относятся к 55 родам и 30 семействам. Лидирующее положение занимают семейства Розоцветные 7 видов (12,7 %) и Астровые 7 видов (12,7 %). Далее за ним следует Злаковые 6 видов (10,9 %) и Бобовые 4 вида (7,2 %). Оставшиеся семейства имеют в данной флоре по 2 и по 1 виду

В парке начинается цветение растений в начале марта. В зависимости от погодных условий зацветают от 2–3 до 10–13 видов растений. Первым зацветает одуванчик. При цветении одуванчик покрывает землю ярким солнечного цвета ковром. Эстафету цветения принимают ивовые, красивые деревья с висячими листьями, Ива белая их 7 деревьев. Цвести начинают и виды рода Тополь, их 90 деревьев, при цветении женские особи выделяют

пух. Затем цветение начинается у видов клена, красивых деревьев с большими листьями. Из кустарников рано цветёт Сирень обыкновенная. К концу апреля количество цветущих растений достигают до 58 видов.

В начале мая красочную картину парку придают виды семейства Розоцветные — Айва продолговатая, Груша обыкновенная и Абрикос обыкновенный. Встречаются на территории парка представители семейства Бобовые, такие как: Аморфа обыкновенная — кустарник с красивыми соцветиями, Люцерна кавказская — многолетние травы, Клевер ползучий и другие. Они обычно цветут в июне-июле. Нарядный вид парку придаёт Дуб черешчатый, который цветёт в мае.

В июне цветут — Ясень обыкновенный, Шток-Роза морщинистая, Шелковица белая, Самшит вечнозеленый, Липа сердцевидная и другие.

Наиболее привлекательный вид парк имеет в июне, когда все растения расцвели и имеют красивый внешний вид. В этот период цветёт почти 60 видов растений. С конца июля происходит постепенное уменьшение цветущих растений.

Осенью красочный наряд парку придают виды рода, а заканчивается в ноябре. В парке растут и Вечнозелёные растения, деревья и кустарники. Среди них Голубая ель, Биота восточная, Самшит вечнозеленый.

Экосистемы лесных полос и парков в городах испытывают самые большие рекреационные нагрузки. Казалось бы, безобидное нахождение людей в парках вызывает постепенное разрушение: уплотнение почв от передвижений людей препятствует прорастанию семян и возобновлению растительности, изменяются условия жизнедеятельности почвенных организмов. Прогуливаясь по парку с детьми, родители оставляют отходы, а также подростки, устраивая пикники, оставляют после себя мусор. Люди не задумываются о том, что при таком отношении к природе им завтра уже негде будет гулять.

Анализ состояния деревьев показал, что они испытывают сильную антропогенную нагрузку. В парке встречаются ослабленные деревья, в их кроне есть сухие ветки и незначительные повреждения коры, нижние ветки повреждены до высоты 1 метра.

Анализ видов по использованию

Вообще-то бесполезных растений нет, даже сильно ядовитые растения используются для лечения различных заболеваний. Любая флора характеризуется видами, обладающими теми или иными полезными свойствами. Большинство этих растений используется человеком. По использованию полезных растений все имеющиеся виды исследуемой нами флоры мы разделили на 8 групп:

Таблица 1.

Виды по использованию	Кол-во видов	% от общего числа
Декоративные	20	32,3
Пищевые	12	19,4
Кормовые	7	11,3
Сорные	6	9,7
Медоносные	4	6,5
Ядовитые	3	4,8
Волокнистые	3	4,8
Итого	62	100 %



Рис. 1

Выводы

A. Во флоре парка Октябрьской революции города Махачкала нами было выявлено 62 вида растений, не считая роз, которые относятся к 55 родам и 30 семействам. Лидирующее положение занимают семейства Розоцветные 7 видов (12,7 %) и Астровые 7 видов (12,7 %). Далее за ним следует Злаковые 6 видов (10,9 %) и Бобовые 4 вида (7,2 %). Оставшиеся семейства имеют в данной флоре по 2 и по 1 виду.

B. Исследовав флору парка, нами было установлено, что парк наиболее привлекательный вид имеет в июне. Почти 50 % растений начинают цветение, во второй половине марта и первой половине апреля. Летом парк имеет зелёный наряд. Листопад начинается в октябре, полностью листопад заканчивается в конце ноября. В парке растут и представители вечнозелёных растений, такие как Самшит вечнозеленый, Голубая ель, Биота восточная.

C. Изучаемые растений по хозяйственному значению и использованию мы разделили на 8 групп. В исследуемой нами флоре преобладающими являются декоративные растения — 20 видов (19,4 %). Лекарственные и кормовые растения содержат по 7 видов (11,3 %). Сорные растения 6 видов (9,7 %) и другие. Наиболее перспективными для разведения в парке являются виды из Европы, Китая и стран Средиземноморья.

D. Считаем, что лучше было бы увеличить количество клёнов в парке для улучшения красоты парка в октябре, так как листья клена в октябре очень красивы.

E. Для улучшения красоты парка в летний период можно было бы посадить в парке конского каштана, а также увеличить количество липы и дуба, вместо тополей особенно женских особей, которые выделяют пух и вызывают аллергию.

F. Улучшит уход за парком, уничтожить сорные растения и вместо них посадить красиво цветущие виды лилейных, орхидных и других травянистых декоративных растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов М.К. Деревья и кустарники, пригодные для озеленения города Махачкалы, и его окрестностей. Т. 9. — Махачкала,1959, — 79 с.
2. Гроссгейм А.А. Определитель растений Кавказа. 1936, — 730 с.
3. Лепёхина А.А. Городские парки и сады и их охрана. — Махачкала,1971, — 67
4. Лепёхина А.А. Декоративные растения открытого грунта Дагестана. — М. 1979, а, — 79 с.
5. Львов П.Л. Зелёные насаждения Махачкалы. — М., Дагучпедгиз, 1954, — 37 с.
6. Львов П.Л. Определитель главнейших дикорастущих и разводимых деревьев и кустарников Дагестана. — М., Дагучпедгиз, 1956, — 197 с.
7. Львов П.Л. Важнейшие декоративные кустарники Махачкалы. Бюллетень Главного Ботанического сада АНСССР.В. 20, 1955, — 10 с.
8. Шенников А.П. Экология растений. — М., Советская наука, 1950, — 375

© Трунова Саният Акаевна (saniatakaeva@mail.ru); Нурмагомедова Саният Гаджиевна (nurma.san@yandex.ru);
Гаджиева Умукусум Магомедмасаровна (ugadzhieva@icloud.com); Арсланкадиева Мадина Мухтаровна (m_mukhtarovna@mail.ru);
Абдулаева Хадижа Рустамовна (abdulayeva-k-00@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.45

ГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНЫХ НОРМ В КОНТЕКСТЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УГРОЗ

STATE REGULATION OF VETERINARY AND SANITARY STANDARDS IN THE CONTEXT OF PREVENTING ENVIRONMENTAL THREATS

S. Trunova
S. Nurmagomedova
U. Magomedova
Kh. Bartykhanova
S. Magomedov

Summary. The article examines the issues of state regulation of veterinary and sanitary standards in the context of preventing environmental threats in the agro-industrial complex of the Russian Federation. The analysis of the regulatory framework was carried out, the effectiveness of supervisory activities was assessed, and key environmental risks associated with violations of veterinary and sanitary requirements during animal husbandry and biological waste management were identified. A significant share of violations leads to water pollution, soil degradation, and an increase in microbiological threats. A comparative analysis of foreign approaches to veterinary and sanitary control revealed effective tools used in the EU, the USA, and China. The article proposes measures to improve the state regulatory system, including the development of comprehensive legislation on biological waste management, the creation of a unified digital monitoring platform, and the introduction of an economic incentive system for farms that comply with high sanitary and environmental standards. The implementation of these measures will enhance the effectiveness of state regulation, reduce environmental threats, and ensure sustainable development of agricultural areas.

Keywords: state regulation, veterinary and sanitary standards, environmental safety, biological waste, animal husbandry, zoonoses, environmental threats, sanitary and epidemiological supervision, agro-industrial complex, sustainable development.

Трунова Саният Акаевна
Кандидат биологических наук, доцент, Дагестанский государственный медицинский университет, г. Махачкала
saniatakaeva@mail.ru
Нурмагомедова Саният Гаджиевна
Кандидат медицинских наук, доцент, Дагестанский государственный медицинский университет, г. Махачкала
nurma.san@yandex.ru
Магомедова Умият Абдулбасировна
Старший преподаватель, Дагестанский государственный медицинский университет, г. Махачкала
m.umijat@yandex.ru
Бартыханова Халимат Магомедовна
Дагестанский государственный медицинский университет, г. Махачкала
Halimka_li@mail.ru
Магомедов Саидапанди Тукаюдинович
Дагестанский государственный медицинский университет, г. Махачкала
Saundweiv816@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы государственного регулирования ветеринарно-санитарных норм в контексте предотвращения экологических угроз в агропромышленном комплексе Российской Федерации. Проведен анализ нормативно-правовой базы, оценена эффективность контрольно-надзорной деятельности, выявлены ключевые экологические риски, связанные с нарушением ветеринарно-санитарных требований при содержании животных и обращении с биологическими отходами. Отмечается значительная доля нарушений санитарных норм, приводящих к загрязнению водных объектов, деградации почв и росту микробиологической угрозы. Представлен сравнительный анализ зарубежных подходов к ветеринарно-санитарному контролю, выявлены эффективные инструменты, используемые в странах ЕС, США и КНР. Предложены направления совершенствования государственной системы регулирования, включая разработку комплексного законодательства об обращении с биологическими отходами, создание единой цифровой платформы мониторинга и введение системы экономического стимулирования для хозяйств, соблюдающих высокие стандарты санитарной и экологической безопасности. Внедрение предложенных мер позволит повысить эффективность государственного регулирования, минимизировать экологические угрозы и обеспечить устойчивое развитие аграрных территорий.

Ключевые слова: государственное регулирование, ветеринарно-санитарные нормы, экологическая безопасность, биологические отходы, животноводство, зоонозы, экологические угрозы, санитарно-эпидемиологический надзор, агропромышленный комплекс, устойчивое развитие.

Введение

Современное развитие агропромышленного комплекса России сопровождается ростом экологических рисков, связанных с интенсификацией животноводства, увеличением объемов производства продукции животного происхождения и увеличением количества отходов. По данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, за последние 10 лет производство животноводческой продукции в стране увеличилось более чем на 25 % [7], при этом ежегодно образуется около 300 млн тонн органических отходов животноводства, значительная часть которых утилизируется с нарушением санитарных норм, что создает потенциальные экологические угрозы для почв, водных объектов и атмосферного воздуха [12].

Несоблюдение ветеринарно-санитарных норм способствует распространению возбудителей опасных инфекционных заболеваний, в том числе зоонозов, и может привести к эпизоотиям, угрожающим не только здоровью населения, но и экологическому балансу территорий. По данным Роспотребнадзора, ежегодно в России регистрируется до 200 вспышек зоонозных инфекций, часть которых связана с неудовлетворительным санитарным состоянием объектов животноводства и несоблюдением правил обращения с биологическими отходами [10].

Ветеринарно-санитарное регулирование как часть государственной системы экологического и санитарно-эпидемиологического надзора играет ключевую роль в обеспечении санитарной безопасности, предупреждении загрязнения окружающей среды и сохранении биоразнообразия. В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства, изменения климатических условий и глобализации рынков необходимость совершенствования государственного регулирования ветеринарно-санитарных норм становится особенно актуальной [9, с. 40].

Настоящая статья посвящена анализу действующей системы государственного регулирования ветеринарно-санитарных норм в России, выявлению существующих проблем и разработке предложений по ее совершенствованию в контексте предотвращения экологических угроз и обеспечения устойчивого развития аграрных территорий.

Обзор литературы

Проблема соблюдения ветеринарно-санитарных норм и их влияние на состояние окружающей среды широко освещена в научной литературе как в России, так и за рубежом. Большинство авторов сходятся во мнении, что нарушение ветеринарно-санитарных требований приводит к возникновению комплексных экологических угроз, включая загрязнение почв и водоемов органическими отходами животноводства, распространение возбудителей опасных инфекций и рост резистентных форм микроорганизмов [1; 5; 11].

Так, по данным исследования Ю.В. Глазуновой, ежегодно в России на объектах животноводства образуется более 300 млн тонн навоза и птичьего помета, при этом до 40 % этих отходов утилизируется с нарушением санитарных норм [1, с. 45; 7], что приводит к попаданию нитратов, фосфатов и патогенной микрофлоры в поверхностные и грунтовые воды, оказывая негативное влияние на экологическое состояние водных объектов и создает угрозу вторичного инфицирования животных и человека [3, с. 36].

По мнению В.А. Костина и Н.Н. Панкратова, низкая эффективность государственного контроля в области ветеринарно-санитарного надзора обусловлена недостаточностью нормативно-правовой базы, слабым внедрением цифровых технологий мониторинга и отсутствием единой информационной системы учета и контроля биологических отходов [6, с. 27]. Авторы подчеркивают, что в странах Европейского союза, где действует жесткая система многоуровневого мониторинга, случаи нарушения санитарных норм фиксируются значительно реже, а уровень загрязнения окружающей среды отходами животноводства в 2–3 раза ниже по сравнению с Россией [15].

Аналогичные проблемы отмечаются в исследованиях В.В. Груздева, который подчеркивает, что свыше 60% биологических отходов в сельскохозяйственных регионах России утилизируется несанкционированно, в том числе путем нелегального захоронения или сброса в водоемы [2, с. 54]. Его исследование подтверждается данными Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору, согласно которым за последние 5 лет выявлено более 7 тысяч нарушений ветеринарно-санитарных норм при обращении с отходами животноводства, при этом в 35 % случаев нарушения носили систематический характер [4].

Особую обеспокоенность вызывает ситуация с распространением зоонозных инфекций. По данным Роспотребнадзора, в России ежегодно регистрируется до 200 вспышек зоонозных инфекций, значительная часть которых связана с нарушением ветеринарно-санитарных норм при содержании и убое животных, а также при транспортировке и переработке продукции животноводства [10]. Аналогичные данные приводят зарубежные исследователи: по оценкам Всемирной организации здравоохранения животных (WOAH), до 70 % новых инфекционных заболеваний человека имеют зоонозную природу, а значительная часть таких заболеваний связа-

на с нарушением ветеринарных и санитарно-гигиенических норм [16].

Таким образом, анализ научной литературы и официальных данных свидетельствует о наличии устойчивой тенденции к росту экологических угроз, обусловленных нарушениями ветеринарно-санитарных норм в агропромышленном комплексе. Это требует не только совершенствования государственной системы регулирования в данной сфере, но и разработки комплексных межотраслевых программ, направленных на снижение техногенной нагрузки на окружающую среду и обеспечение биологической безопасности.

Материалы и методы

Методологическая основа исследования базируется на комплексном подходе к изучению государственной системы регулирования ветеринарно-санитарных норм и её влияния на предотвращение экологических угроз. В процессе работы использовались как общенаучные методы, так и специальные отраслевые методики, применяемые в эколого-ветеринарных исследованиях.

В качестве теоретической основы были проанализированы нормативно-правовые акты Российской Федерации, регулирующие ветеринарно-санитарную деятельность, включая Федеральный закон «О ветеринарии» № 4979-1, а также санитарные правила, ветеринарно-санитарные нормы и методические рекомендации, утвержденные органами государственной власти (Минсельхоз России, Роспотребнадзор, Россельхознадзор). Значительное внимание уделено международным документам и рекомендациям, разработанным Всемирной организацией здравоохранения животных (WOAH) и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (FAO) [13; 15; 16].

Эмпирическую базу составили статистические данные Роспотребнадзора, Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору, Минсельхоза России, а также аналитические отчеты научно-исследовательских институтов, таких как ВНИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии (ФГБНУ ВНИИВСГЭ) и ФГБУ «Центр оценки качества зерна» [4; 7; 10; 12].

Для достижения целей исследования использовался комплекс методов:

- Метод системного анализа, позволивший выявить взаимосвязь между соблюдением ветеринарно-санитарных норм и возникновением экологических угроз.
- Сравнительно-правовой метод — для анализа отечественного и зарубежного законодательства в сфере ветеринарно-санитарного регулирования.
- Контент-анализ нормативных документов, научных публикаций и статистических отчетов, что позволило выявить пробелы и противоречия в действующей системе регулирования.
- Метод экспертных оценок — на основе опроса специалистов в области ветеринарного надзора, санитарного контроля и экологической безопасности.
- Статистический анализ, включающий обработку данных о нарушениях ветеринарно-санитарных норм, случаях зоонозных инфекций, объемах образования и утилизации отходов животноводства за последние 5 лет.

Результаты

В ходе исследования установлено, что действующая система ветеринарно-санитарного регулирования в России основана на положениях Федерального закона «О ветеринарии» (№ 4979–1), а также ряде подзаконных актов, регулирующих отдельные аспекты ветеринарного надзора, обращения с биологическими отходами и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия [13]. Однако проведенный контент-анализ показал, что многие из этих актов морально устарели, не учитывают современных технологических решений в области мониторинга и контроля, а также не всегда согласованы между собой, что создает правовые коллизии при реализации контроля.

Статистический анализ отчетных данных Россельхознадзора и Роспотребнадзора за последние пять лет позволил выявить устойчивую тенденцию к росту числа нарушений ветеринарно-санитарных норм на объектах животноводства. Так, в 2023 году зафиксировано свыше 1500 нарушений, связанных с неправильной утилизацией биологических отходов и несоблюдением санитарных норм при содержании животных, что на 27 % выше показателей 2020 года [12]. Особенно тревожной является ситуация в регионах с развитым агропромышленным сектором — Краснодарском, Ростовском, Белгородском и Воронежском.

Анализ практики государственного надзора показал, что основными причинами нарушений являются: отсутствие системного мониторинга состояния ветеринарно-санитарного благополучия на уровне хозяйств; формальный характер проверок, низкий уровень цифровизации контрольно-надзорной деятельности; отсутствие жесткой системы ответственности за экологические последствия нарушений.

Результаты корреляционного анализа показали высокую степень зависимости между уровнем ветеринарно-санитарного благополучия и экологическими показателями территорий. В регионах с высоким уровнем

нарушений отмечается ухудшение качества поверхностных вод, загрязнение почв азотными соединениями и рост микробиологической загрязненности [14]. В частности, в Курской и Белгородской областях доля проб воды, не соответствующих санитарным требованиям по микробиологическим показателям, достигает 18–22 %, что в 1,5 раза выше среднего по стране [10].

Особую обеспокоенность вызывает связь между несоблюдением санитарных норм и распространением зоонозных инфекций. По данным Роспотребнадзора, до 65 % вспышек зоонозов в сельской местности имеют в качестве основной причины нарушения ветеринарно-санитарного режима на фермах и в хозяйствах [8, с. 21]. В 2023 году зафиксировано 187 случаев вспышек зоонозных инфекций, в том числе сальмонеллеза, бруцеллеза и лептоспироза, значительная часть которых могла быть предотвращена при строгом соблюдении санитарных норм.

Анализ систем ветеринарно-санитарного регулирования стран ЕС, Китая и США показал, что важнейшими элементами эффективного контроля являются: комплексная цифровая система учета и мониторинга биологических отходов; обязательное лицензирование всех процессов обращения с биологическими отходами; введение системы экономического стимулирования для хозяйств, соблюдающих высокие экологические и санитарные стандарты [15].

В России подобные меры пока носят фрагментарный характер, что снижает эффективность профилактической работы.

- Результаты исследования показали, что существующая система государственного регулирования требует серьезного совершенствования в следующих направлениях:
- Разработка комплексного федерального закона об обращении с биологическими отходами, включающего экологические, ветеринарно-санитарные и санитарно-эпидемиологические требования.
- Создание единой цифровой платформы мониторинга ветеринарно-санитарного состояния хозяйств с обязательной интеграцией с системами экологического надзора.
- Введение многоуровневой системы ответственности, учитывающей не только экономические санкции, но и приостановку деятельности при систематических нарушениях.
- Повышение экологической ответственности агропредприятий через налоговые льготы для «зеленых» хозяйств и введение показателей экологической устойчивости в программы господдержки.

Применение данных мер позволит снизить экологические угрозы, связанные с нарушением ветеринарно-санитарных норм, и повысить уровень биологической и санитарно-эпидемиологической безопасности в агропромышленном комплексе страны.

Выводы

Несоблюдение ветеринарно-санитарных норм в агропромышленном комплексе оказывает прямое и существенное влияние на экологическую безопасность сельскохозяйственных территорий. Нарушения в обращении с биологическими отходами, отсутствие системного мониторинга санитарного состояния животноводческих комплексов и недостаточный контроль за соблюдением санитарных правил способствуют загрязнению почв, поверхностных и подземных вод, а также создают условия для распространения зоонозных инфекций.

Действующая система государственного регулирования ветеринарно-санитарных норм в России отличается фрагментарностью и недостаточной координацией между органами ветеринарного надзора, санитарно-эпидемиологического контроля и экологического мониторинга, что снижает эффективность профилактических и контрольно-надзорных мероприятий и не позволяет комплексно оценивать влияние животноводства на окружающую среду.

Статистические данные подтверждают нарастающий характер экологических угроз, обусловленных нарушениями ветеринарно-санитарных норм. За последние пять лет количество выявленных нарушений увеличилось на 27 %, при этом в экологически уязвимых регионах отмечается рост микробиологического загрязнения водных объектов и случаев зоонозных инфекций, связанных с неудовлетворительным санитарным состоянием животноводческих хозяйств.

Сравнительный анализ международного опыта свидетельствует о высокой эффективности комплексных систем регулирования, включающих цифровую прослеживаемость биологических отходов, многоуровневый экологический и ветеринарный контроль, а также экономическое стимулирование хозяйств, соблюдающих строгие санитарные и экологические нормы. В России подобная система находится на стадии формирования, что требует ускоренной адаптации международных практик.

Для минимизации экологических угроз, связанных с несоблюдением ветеринарно-санитарных норм, необходимо совершенствование правового регулирования, усиление межведомственного взаимодействия и внедрение цифровых технологий в процессы контроля и мониторинга. Особое значение имеет создание единой цифровой платформы ветеринарно-санитарного мониторинга, интегрированной с системами экологического

надзора, а также введение стимулирующих мер для хозяйств, соблюдающих высокие стандарты санитарной безопасности.

Комплексный подход к государственному регулированию ветеринарно-санитарных норм должен учитывать не только задачи санитарно-эпидемиологического благополучия, но и приоритеты экологической безопасности и устойчивого развития аграрных территорий, что позволит повысить эффективность государственной политики в сфере охраны окружающей среды и профилактики биологических угроз в сельском хозяйстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунова Ю.В. Ветеринарно-санитарные нормы в животноводстве: экологический аспект // Экология и право. — 2022. — № 3. — С. 45–52.
2. Груздев В.В. Экологические угрозы в животноводстве и пути их минимизации // Экология и природопользование. — 2023. — № 4. — С. 54–61.
3. Гусев П.В., Климова О.С. Санитарная безопасность животноводческих комплексов и её влияние на окружающую среду // Аграрный вестник Юга России. — 2021. — № 9. — С. 36–42.
4. Доклад о состоянии ветеринарной безопасности в Российской Федерации за 2023 год. [Электронный источник]. URL: https://www.fsvps.gov.ru (дата обращения: 05.03.2025).
5. Исследование качества жизни населения муниципального образования «Кизилюртовский район» Республики Дагестан / Г.М. Абдурахманов, П.А. Бекшокова, П.И. Габибова [и др.] // Юг России: экология, развитие. — 2016. — Т. 11, № 3. — С. 9–23. — EDN WXMNMR.
6. Костин В.А., Панкратов Н.Н. Совершенствование ветеринарного надзора: цифровая трансформация и экологические риски // Ветеринария сегодня. — 2021. — № 5. — С. 27–33.
7. Министерство сельского хозяйства РФ. Государственный доклад о состоянии агропромышленного комплекса в Российской Федерации. [Электронный источник]. URL: https://mcx.gov.ru (дата обращения: 05.03.2025).
8. Погодин В.В., Сорокина Л.М. Ветеринарно-санитарная безопасность как фактор предотвращения экологических угроз // Ветеринария и жизнь. — 2023. — № 9. — С. 21–27.
9. Роль ветеринарии в сохранении биоразнообразия. Экологические вызовы / С.А. Трунова, С.Г. Нурмагомедова, Э.М. Мусинова [и др.] // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2024. — № 8. — С. 40–43. — DOI 10.37882/2223–2966.2024.8.32. — EDN QKJCZS.
10. Роспотребнадзор. Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения в Российской Федерации» за 2023 год. [Электронный источник]. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru (дата обращения: 05.03.2025).
11. Сорокина Л.М., Плотников А.В. Экологическая безопасность в АПК: современные вызовы // Вестник аграрной науки. — 2022. — № 7. — С. 11–19.
12. Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору. Доклад о состоянии ветеринарной безопасности в Российской Федерации за 2023 год. [Электронный источник]. URL: https://www.fsvps.gov.ru (дата обращения: 05.03.2025).
13. Федеральный закон «О ветеринарии» от 14.05.1993 № 4979–1.
14. Экологический доклад Минприроды РФ за 2023 год. [Электронный источник]. URL: https://www.mnr.gov.ru (дата обращения: 05.03.2025).
15. European Environment Agency. Agricultural waste management in the EU countries: current state and perspectives. 2023. [Электронный источник]. URL: https://www.eea.europa.eu (дата обращения: 05.03.2025).
16. World Organisation for Animal Health (WOAH). Zoonotic diseases: global situation and recommendations. 2024. [Электронный источник]. URL: https://www.woah.org (дата обращения: 05.03.2025).

© Трунова Саният Акаевна (saniatakaeva@mail.ru); Нурмагомедова Саният Гаджиевна (nurma.san@yandex.ru);
Магомедова Умият Абдулбасировна (m.umijat@yandex.ru); Бартыханова Халимат Магомедовна (Halimka_li@mail.ru);
Магомедов Саидапанди Тукаюдинович (Saundweiv816@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.01

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АУТЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ЭКГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

INTELLIGENT ECG-BASED BIOMETRIC AUTHENTICATION SYSTEM USING DEEP LEARNING TECHNIQUES

Azab Mohamed Abdalla Elsayed
V. Korzhuk

Summary. This paper presents an intelligent biometric authentication system based on electrocardiogram (ECG) signals and deep learning techniques. The system incorporates signal filtering, feature extraction, wavelet decomposition, and precise QRS complex detection. Noise robustness is enhanced through deviation modeling and threshold averaging. Classification is performed by an optimized neural network. Experimental validation using the ECG-ID dataset achieved 98 % accuracy, 95 % sensitivity, and a 10-second response time, with an AUC of 0.98. These results demonstrate the system's suitability for practical use and highlight future directions for improving selectivity and reducing false positives.

Keywords: biometrics, ECG, authentication, deep learning, ANN, wavelet decomposition, QRS complex, information security.

Азаб Мохамед Абдалла Эльсайед
Аспирант, Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург
mohamed.a.azab@itmo.ru
Коржук Виктория Михайловна
Доцент, Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург
vmkorzhuk@itmo.ru

Аннотация. В статье описана интеллектуальная система биометрической аутентификации, использующая сигналы ЭКГ и алгоритмы глубокого обучения. Система включает этапы фильтрации, извлечения признаков, вейвлет-декомпозиции и точного выделения комплекса QRS. Расчёт отклонений и использование усреднённого порога позволяют минимизировать влияние шума. Классификация осуществляется с помощью нейросетевой модели. Эксперименты на наборе ECG-ID подтвердили эффективность: точность — 98 %, чувствительность — 95 %, время отклика — 10 секунд, AUC = 0,98. Результаты демонстрируют пригодность системы для практического применения и подчёркивают перспективы развития в направлении повышения селективности и снижения ложных срабатываний.

Ключевые слова: биометрия, ЭКГ, аутентификация, глубокое обучение, ИНС, вейвлет-декомпозиция, QRS, информационная безопасность.

Введение

Биометрическая аутентификация имеет первостепенное значение в Биометрическая аутентификация играет важную роль в обеспечении защиты конфиденциальной информации и ресурсов [1]. Среди физиологических сигналов, применяемых для идентификации личности, ЭКГ занимает особое место благодаря своей уникальности, стабильности и устойчивости ко внешним воздействиям. Шаблоны электрической активности сердца, зафиксированные с помощью ЭКГ, отражают индивидуальные анатомо-физиологические особенности и служат надёжным источником биометрических данных. В данной работе представлена система аутентификации, основанная на сигналах ЭКГ и алгоритмах глубокого обучения. Предложенный подход направлен на повышение точности и надёжности идентификации за счёт анализа формы и динамики сердечных сокращений. В качестве основного механизма распознавания используется искусственная нейронная сеть (ИНС), обученная на извлечённых признаках ЭКГ. Современные биометрические методы, такие как распознавание лиц и голосов, подвержены уязвимостям: они неэффективны при отсутствии визуальных данных, могут быть обмануты записями или не способны различать идентичных близнецов. В этом контексте ЭКГ-сигналы являются выгодной альтернативой, обладая универсальностью, уникальностью и высокой стойкостью к фальсификациям [2]. ЭКГ фиксирует электрическую активность сердца во времени. Сигнал включает повторяющуюся форму волн с характерными компонентами — зубец P, комплекс QRS и зубец T, — каждый из которых связан с определённой фазой сердечного цикла: деполяризация предсердий (P), деполяризация желудочков (QRS) и реполяризация желудочков (T) [3]. Эти характеристики варьируются у разных людей и обеспечивают индивидуальную морфологию сигнала [4]. Кроме того, на форму сигнала влияет размещение электродов. Стандартная 12-выводовая схема регистрации делит ЭКГ на грудные и конечностные отведения, обеспечивая детализированное отображение ритмических паттернов. Комплекс QRS является ключевым элементом анализа и надёжным биометрическим ориентиром, обычно рассматриваемым в структуре P-QRS-T [5]. Уникальность ЭКГ-сигналов обусловлена анатомо-физиологическими различиями между людьми. При этом исследования подтверждают стабильность

внутриличностных характеристик даже при длительных интервалах между записями [6]. Благодаря своей непроизвольности и физиологической природе, ЭКГ-сигналы трудно подделать, что делает их особенно надёжным инструментом биометрической аутентификации [7].

Благодаря этим свойствам ЭКГ активно исследуется как биометрический параметр с начала 2000-х годов. Настоящая работа организована следующим образом: в разделе 2 представлен обзор литературы и анализ существующих решений; в разделе 3 — описание предлагаемой методологии; в разделе 4 — экспериментальные результаты и их обсуждение; раздел 5 содержит выводы и направления для дальнейших исследований.

Литературный обзор

Исследование H. Silva et al. [8] подчёркивает важность ЭКГ-биометрии для безопасного доступа к медицинским информационным системам, учитывая ограничения традиционных методов авторизации. В работе Al. [6] продемонстрирована эффективность идентификации по морфологическим и временным признакам ЭКГ, собранным у 22 участников — тестирование 550 образцов подтвердило индивидуальность сигналов. Также показано, что сегмент QRS остаётся устойчивым к изменению частоты сердечных сокращений и может надёжно использоваться для биометрической верификации [9].

Согласно Y. Ho, Wang et. Al. [10], «Биометрическая идентификация» определяет личности на основе их уникальных физических и биологических сигналов. Этот проект рассматривает и оценивает способ изучения ЭКГ с одного отведения для различения различных людей. После завершения первой фазы данные ЭКГ разбиваются на несколько сегментов для обработки, по одному окну для каждого сердцебиения. Путём корректного определения комплекса QRS наш инструмент собирает важные значения данных, способствующие идентификации личности. Исследовательская работа предоставляет биометрическую систему для структурированного изучения конкретной электрокардиограммы (ЭКГ) для аутентификации человека. Начальный этап такой системы состоит из широкополосного фильтра, используемого для удаления шума, а также других артефактов, возникающих из исходного сигнала ЭКГ.

В работе A. Krishnapuram et al. [11] представлен байесовский подход к совместному отбору признаков и построению классификатора. Метод позволяет определить, когда уменьшение числа признаков снижает точность модели, и выявить наиболее значимые факторы для классификации. Используется регуляризация через априорные распределения для поощрения разреженности. Авторы также предлагают EM-алгоритм для эффективной оценки MAP, аналогичный по эффективно-

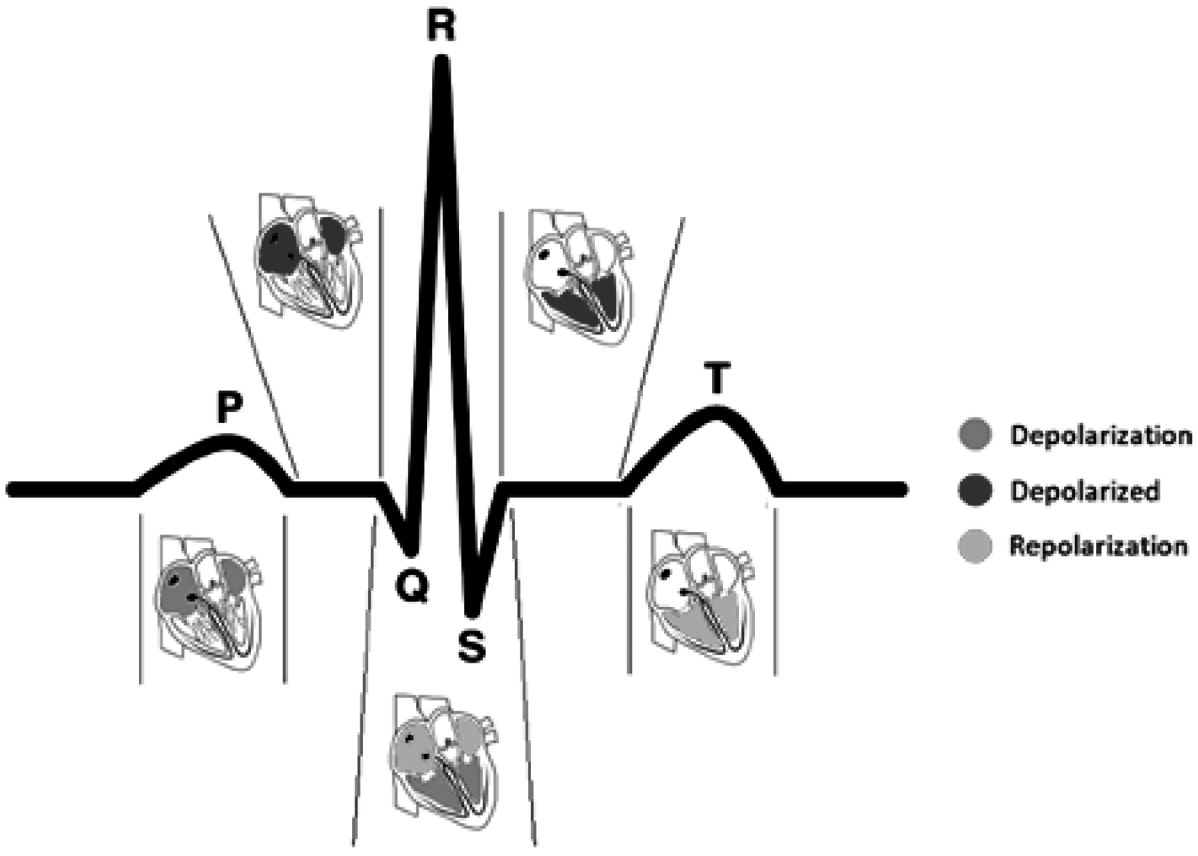


Рис. 1. Последовательность событий деполяризации и реполяризации в сигнале ЭКГ [5]

сти методам опорных векторных машин, но основанный на байесовской теории.

В работе Jebara et al. [12] предложены две методики для SVM: выбор ядер для многозадачного обучения и обучение отдельных SVM на связанных, но раздельных наборах данных. Эти подходы позволяют улучшить классификацию при наличии разнородных данных. Авторы используют формулу экстремального разделения энтропии и выпуклые алгоритмы, сохраняющие глобальные цели оптимизации. Также совместно оптимизируются признаки и ядра SVM. Методика протестирована на упрощённых наборах данных.

В исследовании Andrea Bakker et al. [13] показано, что мультизадачное обучение, при котором модель обучается на нескольких связанных задачах одновременно, повышает точность регрессии. Авторы применяют линейную модель смешанных эффектов, различая фиксированные (общие) и случайные (варьирующиеся) параметры. Используется байесовский подход, где часть параметров распределена для всех задач, а другая — связана через общее вероятностное распределение, сочетая преимущества нейросетей и многоуровневой статистики.

Исследование [14] рассматривает геометрические различия в многовыводовых ЭКГ, обусловленные анатомией и электрической активностью сердца. Ещё с работ Уоллера и Эйнтховена [15] известно, что ЭКГ заметно варьируется даже у здоровых людей [16]. Основные искажения связаны с прохождением импульсов через ткани, и предложены методы их компенсации. Однако современные системы сталкиваются с шумами и межличностной вариабельностью [17]. Наша система, основанная на глубоком обучении, преодолевает эти ограничения, обеспечивая высокую точность и надёжность [2], [18].

Материалы и методы

Наша предлагаемая система объединяет несколько компонентов, как показано на Рис. 2: обработка сигналов, выделение признаков, вейвлет-анализ и инструмент биометрического сравнения на основе искусственной нейронной сети (ИНС). Этот метод глубокого обучения позволяет нашей системе выявлять сложные волновые паттерны в сигналах ЭКГ, что улучшает как распознава-

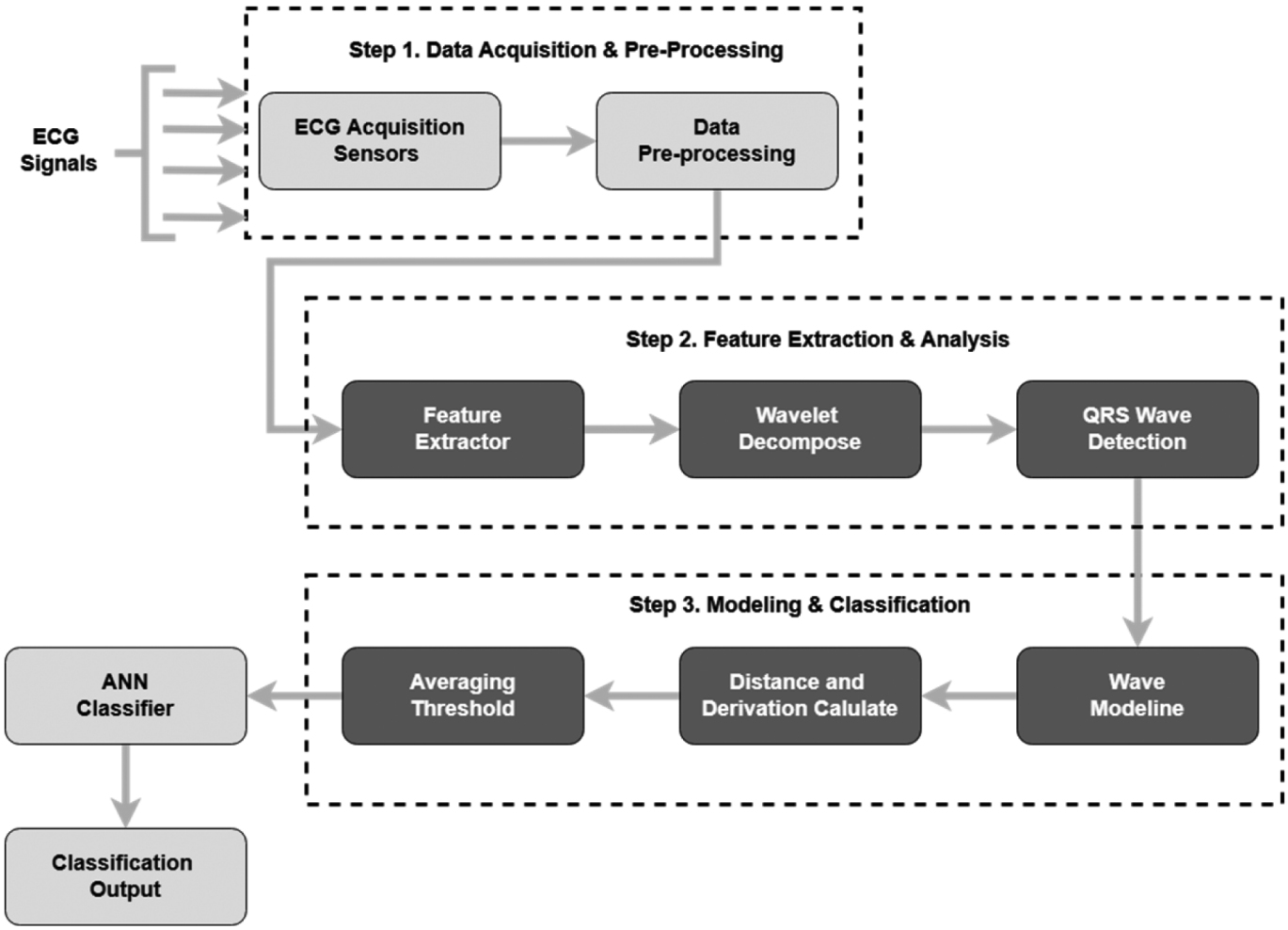


Рис. 2. Предлагаемая блок-схема

ние, так и интерпретацию сердечной активности. Обработка сигналов ЭКГ внутри системы и их усреднение помогают лучше обнаруживать сердечные проблемы, игнорируя нежелательные фоновые шумы.

Предлагаемая система на основе методов глубокого обучения подходит как для индивидуальной, так и для массовой биометрической аутентификации. Она служит ориентиром для исследователей и разработчиков, обеспечивая корректный сбор и оформление ЭКГ-данных. В рамках исследования были определены границы применения и разработаны три сценария использования аутентификации в зависимости от задач конкретного приложения.

Получение данных: В исследовании использовался общедоступный набор данных ECG-ID, содержащий ЭКГ-сигналы от 90 участников. Для анализа были выбраны записи 40 человек с разнообразием по возрасту и полу, что повысило обобщаемость модели. Сигналы, полученные по отведению I с использованием стандартной установки, были сохранены для последующей обработки и анализа.

Предварительная обработка сигналов и извлечение признаков: на первом этапе применялся медианный фильтр для удаления шума и артефактов, что улучшало качество ЭКГ-сигналов. Затем извлекались ключевые компоненты сердечного цикла — зубец P, комплекс QRS и зубец T, используемые как индивидуальные биометрические признаки. Для анализа во временной и частотной областях применялась вейвлет-декомпозиция, выделяющая информативные диапазоны, значимые для аутентификации.

Анализ волн и моделирование: Комплекс QRS, как основной признак для аутентификации, был детально проанализирован с помощью точного определения его границ. Для извлечения дополнительных характеристик проводилось моделирование формы и амплитуды. Надёжность системы повышалась за счёт расчёта расстояний и отклонений от эталонного шаблона, а также применения усреднённого порога, что снижало влияние шума и обеспечивало стабильность результатов.

Классификация и генерация результатов: Обработанные признаки подавались в классификатор на основе искусственной нейронной сети (ИНС), обученной на известных ЭКГ-сигналах. Система анализировала сложные паттерны и выдавала бинарное решение — подлинный сигнал или нет. Использование усреднённого порога в сочетании с ИНС обеспечивало высокую точность и надёжность аутентификации.

Методология

Рис. 3 показывает блок-схему предлагаемого подхода. Он состоит из предварительно обученного классификатора ИНС для оценки производительности классификации сигналов ЭКГ для аутентификации личности. В предлагаемой методологии шаги, следующие:

ЭКГ-сигналы из открытой базы данных были предварительно обработаны с помощью полосового фильтра (BPF) для устранения шума и сохранения значимых частот. Далее сигналы подавались в оптимизированную искусственную нейронную сеть, архитектура которой была адаптирована для повышения эффективности распознавания.

Результаты

Рисунок 4 показывает исходный ЭКГ-сигнал, содержащий зубцы P, Q, R, S и T, отражающие фазы сердечного цикла. Индивидуальные особенности и нерегулярности формы сигнала служат основой для биометрической аутентификации.

При получении сигнал ЭКГ часто загрязняется различными видами шума. После удаления нежелательного шума из сигнала ЭКГ с использованием полосового фильтра (BPF) сигнал ЭКГ представлен на Рис. 5. Именно этот шаг значительно улучшает качество и точность последующей обработки и анализа сигнала.

Точки PQRS представляют собой ключевые ориентиры в сигнале ЭКГ, а именно зубец P, комплекс QRS и зубец T. Рис. 6 иллюстрирует определённые точки PQRS, предоставляя визуальное представление критически важных признаков, используемых для последующего анализа и извлечения признаков.

Точное обнаружение пиков R в комплексе QRS имеет большое значение. На Рис. 7 показаны конкретно обнаруженные пики R в сигнале ЭКГ, которые служат основой для последующих этапов обработки.

Для уменьшения влияния шума и нерегулярностей к сигналу ЭКГ применяется процесс сглаживания. Рис. 8 демонстрирует сигнал после сглаживания, с более ясным отображением основной сердечной активности.



Рис. 3. Предлагаемая методология

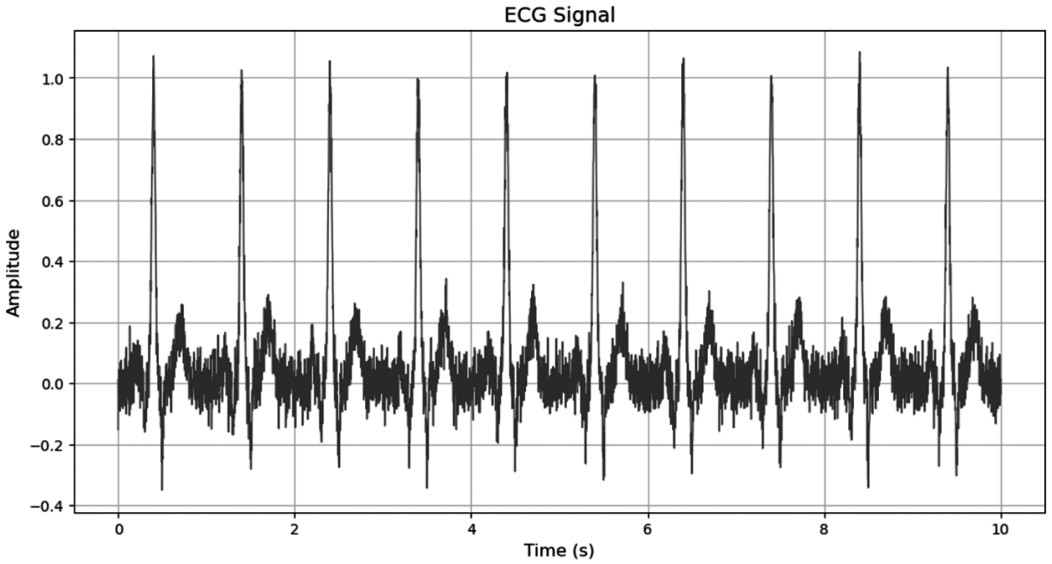


Рис. 4. Входной сигнал ЭКГ

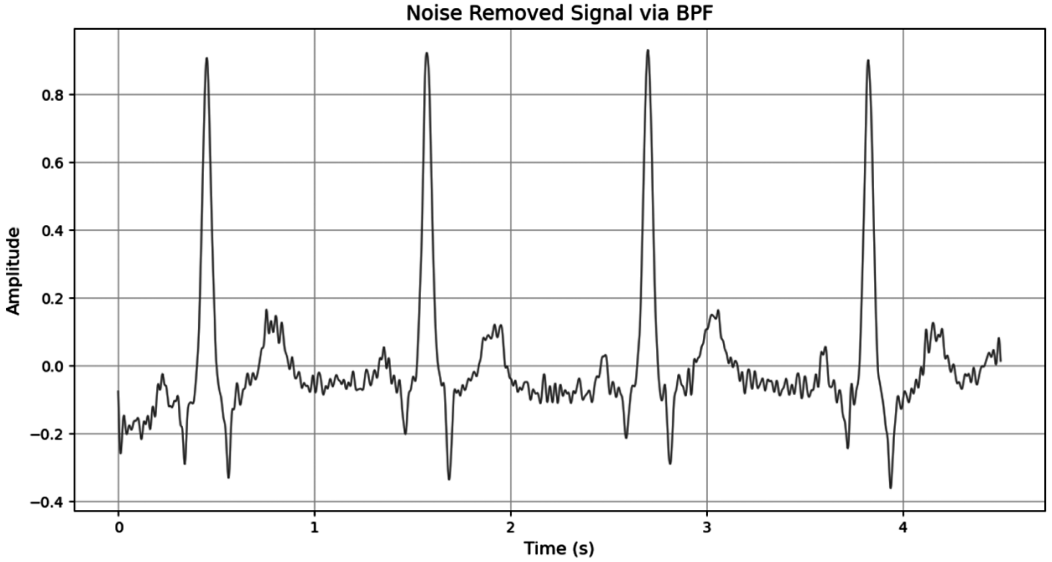


Рис. 5. Сигнал с удаленным шумом посредством BPF

Система показала высокую точность идентификации — 98 %, с чувствительностью 95 %, что подтверждает её надёжную работу. При этом точность в определении поддельных сигналов составила лишь 20 %, что указывает на проблему с ложноположительными результатами (75 %). Таким образом, основной недостаток системы — недостаточная способность отличать подлинные сигналы от ложных. Время обработки составило 10 секунд, что соответствует требованиям реального времени. Показатели точности, чувствительности и селективности представлены на рисунке 9.

Матрица ошибок (рис. 10) показывает, что система правильно классифицировала 95 % подлинных сигналов и лишь 20 % ложных, что указывает на слабую селективность. Ошибки в распознавании неавторизованных пользователей подчёркивают необходимость улучшения механизмов различения поддельных ЭКГ-сигналов.

ROC-кривая (рис. 11) отражает соотношение чувствительности и специфичности. Значение AUC = 0,98 подтверждает высокую способность системы различать подлинных и ложных пользователей. Однако снижение производительности при высокой специфичности указывает на ограниченную избирательность.

Заключение

Разработанная система аутентификации на основе ЭКГ объединяет современные методы обработки сигналов и алгоритмы глубокого обучения, обеспечивая высокую точность и надёжность. Интеграция передовых методов извлечения признаков и нейросетей позволяет эффективно применять её в реальных условиях. Обзор литературы подтвердил актуальность направления и выявил основные вызовы. В дальнейшем планируется

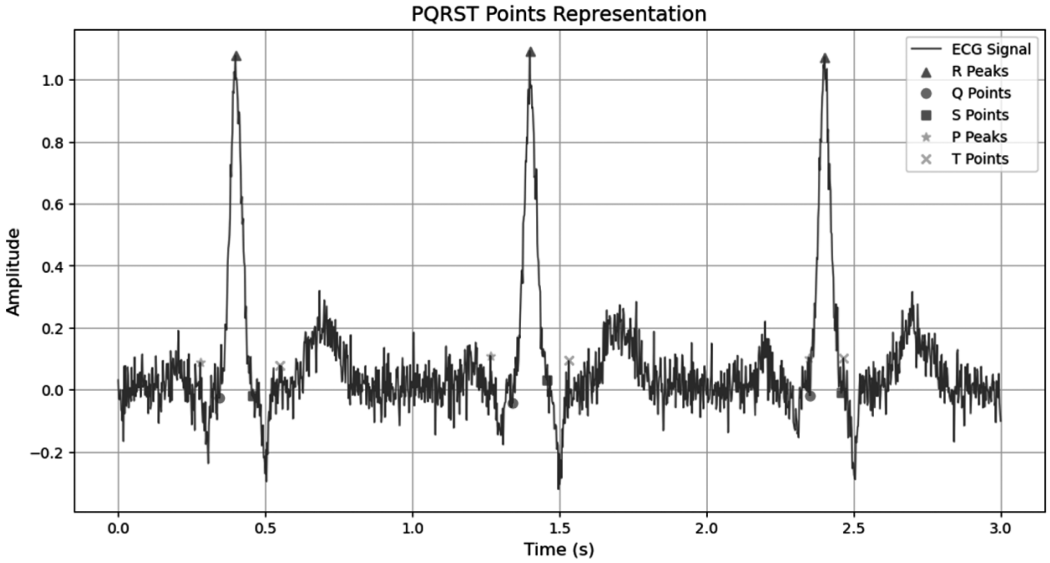


Рис. 6. Представление точек PQRS

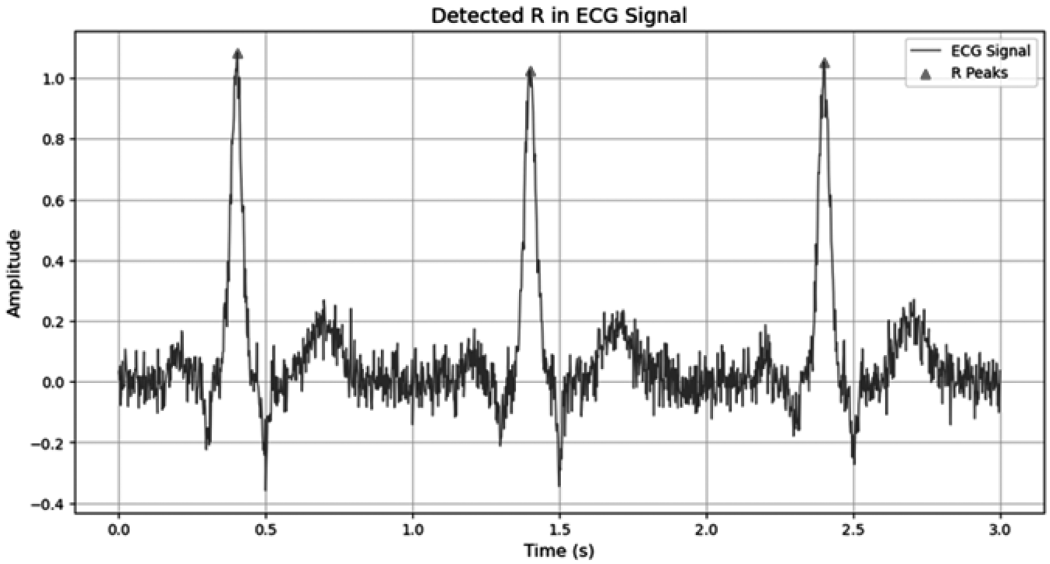


Рис. 7. Обнаруженные пики R в сигнале ЭКГ

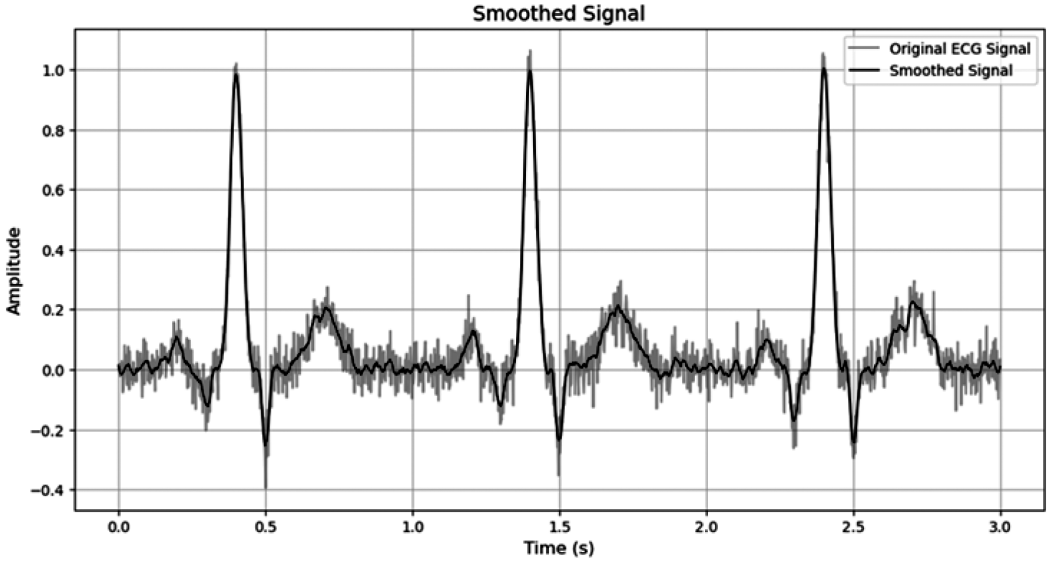


Рис. 8. Сглаженный сигнал

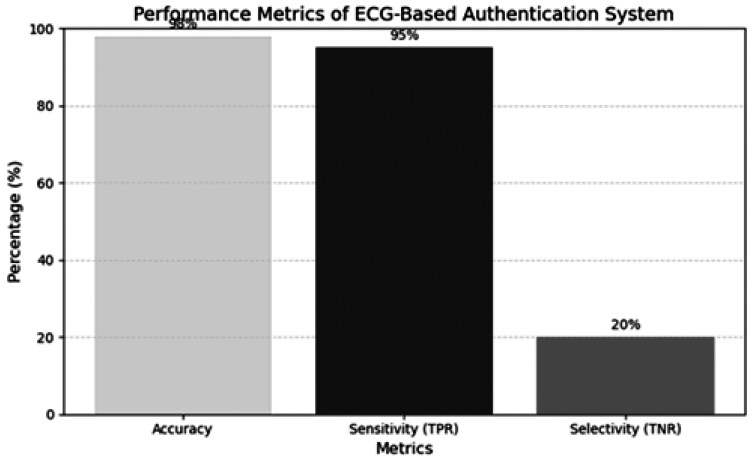


Рис. 9. Показатели производительности

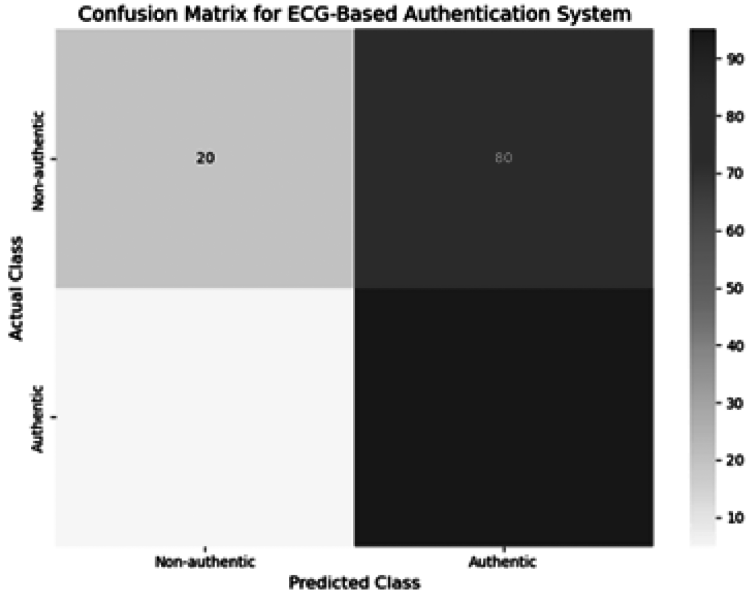


Рис. 10. Матрица ошибок

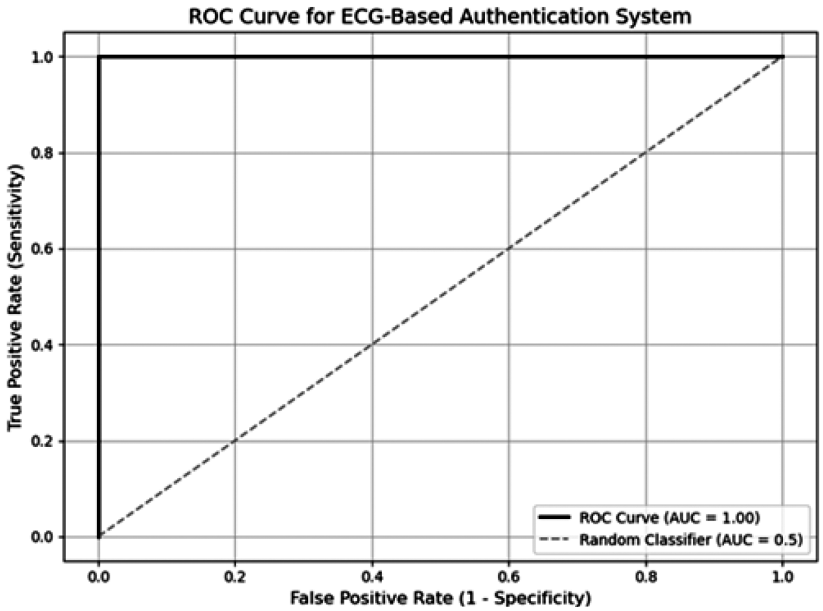


Рис. 11. ROC-кривая для системы аутентификации на основе ЭКГ

использование расширенных датасетов и тестирование в прикладных сценариях. Развитие технологий deep learning и биометрии усилит устойчивость к шуму и вариативности, а адаптация под будущие задачи обеспечит соответствие современным требованиям безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ингале М. и др. Биометрическая аутентификация на основе ЭКГ: Сравнительный анализ // IEEE Access. IEEE Institute of Electrical Electronics Engineers, 2020. Т. 8. С. 117853–117866.
2. Ахмед М.Дж. и др. CardioGuard: Гибридная нейронная сеть для аутентификации на основе ЭКГ с использованием ИИ для прогнозирующего мониторинга здоровья в телемедицинских системах // SLAS Technology. Sage, 2024. Т. 29, № 5. С. 100193.
3. Лю Дж. и др. Новый метод локализации волн P-QRS-T в сигналах ЭКГ на основе гибридных нейронных сетей // Computers in Biology and Medicine. Pergamon, 2022. Т. 150. С. 106110.
4. Швердтфегер А.Р. и др. Вариабельность сердечного ритма (ВСР): От смерти мозга до резонансного дыхания с частотой 6 вдохов в минуту // Clinical Neurophysiology. Elsevier Ireland, 2019. Т. 131, № 3. С. 676–693.
5. Сон Дж. и др. Реконструкция 12-канальной электрокардиограммы из трехканального устройства типа патч с использованием сети LSTM // Sensors. Molecular Diversity Preservation, 2020. Т. 20, № 11. С. 3278.
6. Цюй Х., Панг Л., Гао Х. Классификация умственной нагрузки на основе множественных признаков сигналов ЭКГ // Informatics in Medicine Unlocked. Elsevier, 2021. Т. 24. С. 100575.
7. Сюн П. и др. Обнаружение кратковременной пароксизмальной фибрилляции предсердий на основе парадигмы внутри- и межпациентного анализа интервалов R-R // Biomedical Signal Processing and Control. American Geophysical Union, 2023. Т. 89. С. 105750.
8. Да Силва Х.П. и др. Сигнал ЭКГ пальца для аутентификации пользователей: Удобство использования и производительность // Institute of Electrical Electronics Engineers, 2013. Т. 2. С. 1–8.
9. Эль Бужнуни И. и др. Капсульная нейронная сеть на основе вейвлетов для биометрической идентификации по ЭКГ // Biomedical Signal Processing and Control. American Geophysical Union, 2022. Т. 76. С. 103692.
10. Мельцер Д., Луэнго Д. Эффективная биометрическая идентификация на основе кластеризации электрокардиографических данных // Expert Systems with Applications. Elsevier, 2023. Т. 219. С. 119609.
11. Вагнер П. и др. Объяснение глубокого обучения для анализа ЭКГ: Базовые элементы для аудита и обнаружения знаний // Computers in Biology and Medicine. Pergamon, 2024. Т. 176. С. 108525.
12. МС. Гупта Н. Обзор биометрической аутентификации с использованием электрокардиограммы // SSRN Electronic Journal. Elsevier, 2020.
13. Ян В., Ван С. Система аутентификации на основе ЭКГ с сохранением конфиденциальности для защиты беспроводных сетей датчиков тела // IEEE Internet of Things Journal. Institute of Electrical Electronics Engineers, 2022. Т. 9, № 8. С. 6148–6158.
14. Хан М.У. и др. Система биометрической аутентификации на основе электрокардиограммы (ЭКГ) // Institute of Electrical Electronics Engineers, 2019. С. 1–6.
15. Исса М.Ф. и др. Классификация сердечных сокращений на основе одноканальной ЭКГ (отведение II) с использованием глубокого обучения // Heliyon. Elsevier BV, 2023. Т. 9, № 7. С. e17974.
16. Ван Дам П.М. и др. Связь 12-канальной ЭКГ с анатомией сердца: Нормальная CineECG // Journal of Electrocardiology. Elsevier, 2021. Т. 69. С. 67.
17. Уваечиа А.Н., Рамли Д.А. Всесторонний обзор использования сигналов ЭКГ как новой биометрической модальности для аутентификации человека: Современные достижения и будущие вызовы // IEEE Access. IEEE Institute of Electrical Electronics Engineers, 2021. Т. 9. С. 97760–97802.
18. Ван Д. и др. Новый метод биометрической идентификации на основе электрокардиограммы с использованием временно-частотного автоэнкодинга // Electronics. MDPI AG, 2019. Т. 8, № 6. С. 667.

© Азаб Мохамед Абдалла Эльсайед (mohamed.a.azab@itmo.ru); Коржук Виктория Михайловна (vmkorzhuk@itmo.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.02

РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СГЕНЕРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK FOR CLASSIFICATION OF GENERATED TEXTS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

E. Alekseeva
S. Trushin

Summary. This article discusses the features of recognition of generated texts by language models. The architectures for vector representations, as well as the architectures of recurrent networks that are most suitable for working and analyzing generated texts, are given. An open dataset from Kaggle was used to train the neural network. An algorithm based on ELMo and fully connected networks for text classification has been developed. The input data has been preprocessed. An example of the algorithm's operability is presented using the example of school essays. It is concluded that the developed neural network effectively classifies texts and provides significant support in maintaining academic integrity and will serve as a reliable tool for educational institutions.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, deep learning, ELMo, RNN, generated text, development, algorithm, language models.

Алексеева Екатерина Сергеевна
ФГБОУ ВО Российский технологический университет — МИРЭА, г. Москва
machkt@yandex.ru
Трушин Степан Михайлович
Старший преподаватель, ФГБОУ ВО Российский технологический университет — МИРЭА, г. Москва
trushin@mirea.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности распознавания сгенерированных текстов языковыми моделями. Приведены архитектуры для векторных представлений, а также архитектуры рекуррентных сетей, наиболее подходящих для работы и анализа сгенерированных текстов. Для обучения нейронной сети использован открытый набор данных с Kaggle. Разработан алгоритм на основании ELMo и полно связных сетей для классификации текстов. Пред обработаны входные данные. Представлен пример работоспособности алгоритма на примере школьных сочинений. Сделан вывод, что разработанная нейронная сеть эффективно классифицирует тексты и оказывает значительную поддержку в поддержании академической честности и будет служить надежным инструментом для образовательных учреждений.

Ключевые слова: нейронные сети, искусственный интеллект, глубокое обучение, ELMo, RNN, сгенерированный текст, разработка, алгоритм, языковые модели.

В эпоху цифровизации образовательного процесса вопросы академической честности приобретают особую актуальность. С появлением продвинутых языковых моделей, таких как ChatGPT, Bard, HuggingFace и т.д., возникает необходимость в разработке надежных методов для идентификации подлинности студенческих работ. В условиях цифровизации образования доступ к мощным генеративным инструментам становится всё проще и шире. Это увеличивает риск плагиата и неэтичного использования технологий, что подрывает принципы академической честности и угрожает целостности образовательного процесса.

Также, текущие системы антиплагиата, как правило, настроены на поиск прямых совпадений и перефразирований текста, что делает их недостаточно эффективными в выявлении работ, сгенерированных с помощью искусственного интеллекта (ИИ). Современные языковые модели способны создавать высококачественные тексты, которые могут быть ошибочно приняты за оригинальные работы. Это представляет собой серьёзный пробел в существующих системах обнаружения плагиата, поскольку они ещё не обладают нужными алгоритмическими решениями для адекватного анализа и классификации текстов, созданных искусственным интеллектом.

Решением вышеописанной проблемы является разработка вспомогательных методов и алгоритмов, способных точно определять, был ли текст создан студентом самостоятельно или же сгенерирован искусственным интеллектом.

Одним из наиболее подходящих методов для исследуемой задачи являются нейронные сети, поскольку они обладают способностью анализировать большие объёмы данных и выявлять сложные закономерности в текстах, а также их способность к глубокому анализу контекста и смысла текста. Нейронные сети могут обучаться на примерах оригинальных и сгенерированных текстов, способны распознавать тонкие отличия в стилистике, структуре и использовании языка, что часто невидимо для глаза человека. Кроме того, применение глубокого обучения позволяет адаптировать алгоритмы под конкретные академические требования и обновлять их

в соответствии с развитием технологий, что делает их неоценимым инструментом в поддержании академической добросовестности.

В рассматриваемой задаче особенно эффективными будут нейронные сети, предназначенные для работы с последовательными данными.

Рассмотрим наиболее популярные архитектуры нейронных сетей, специализирующиеся на работы с текстовыми данными, а именно RNN и его производные LSTM и GRU (Таблица 1).

Таблица 1.

Архитектуры RNN

Алгоритм	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
RNN	Сеть, обрабатывающие последовательные данные с учетом предыдущего контекста благодаря внутренней памяти.	Подходят для последовательных данных, учитывают контекст, гибкие размеры ввода/вывода, способны улавливать временные зависимости в данных [1]	Проблемы с долговременной памятью, затухающие/взрывающиеся градиенты, высокая вычислительная сложность
LSTM	Разновидность RNN, предназначенная для решения проблем с долговременной памятью и проблемами, возникающими при расчете градиентов	Эффективно работает с долговременными зависимостями; избегает затухания/взрыва градиентов, способны улавливать временные зависимости в данных	Более сложная архитектура, выше вычислительные затраты по сравнению с простыми RNN
GRU	Упрощённая версия LSTM с меньшим количеством параметров, облегчающая обучение и ускоряющая вычисления	Улучшенная обработка долговременных зависимостей; меньше параметров, чем у LSTM, быстрее обучается	Может быть менее мощным в некоторых задачах по сравнению с LSTM из-за упрощённой структуры.

Кроме архитектур нейронных сетей, специализированных на классификации текстов, существуют также архитектуры, нацеленные на извлечение признаков из текста, учитывающие синтаксическую связь, морфологические особенности, семантику и другие лингвистические аспекты.

Такие архитектуры позволяют преобразовывать тексты в плотные векторные представления, отражающие их семантическое и синтаксическое значение. Эмбеддинги играют ключевую роль в понимании языка, поскольку они предоставляют информацию о словах, фразах или даже целых текстах в компактной форме [2]. Рассмотрим преимущества и недостатки широко используемых методов в этой области (Таблица 2).

Все вышеописанные подходы можно как объединять, так и использовать по отдельности. Выбор между вышеописанными архитектурами для решения задачи классификации текстов, созданных студентами или искусственными языковыми моделями, зависит от конкретной задачи, характеристик данных и доступных ресурсов организации.

Однако, наиболее эффективным подходом в исследуемой задаче окажется сочетание использования ELMo (Embeddings from Language Models) для создания контекстных эмбеддингов и применения глубоких полно связных нейронных сетей для дальнейшей обработки по следующим причинам:

- контекстуализированные эмбеддинги слов: ELMo учитывает контекстное использование слов, что обеспечивает более точное понимание их значений в различных ситуациях. Это улучшает обработку текста за счет глубокого анализа семантики слов в зависимости от контекста [4];
- высокая эффективность на средних по размеру датасетах ELMo эффективно работает с датасетами, обеспечивая глубокое понимание текста без необходимости в экстремально больших объемах тренировочных данных. Это делает его подходящим для задач, где данные ограничены, но требуется высокое качество анализа;
- гибкость и простота интеграции: полно связный слой легко интегрируется с выходами ELMo, позволяя легко адаптировать модель под специфические задачи обработки текста. Это дает свободу экспериментировать и настраивать модель для достижения наилучших результатов;
- ELMo обрабатывает тексты различного качества: благодаря глубокому пониманию контекста, ELMo успешно справляется с текстами разного стиля и качества, включая специфическую терминологию и сленг. Это важно при работе с датасетами, содержащими данные из разнообразных источников;
- относительная экономичность ресурсов с ELMo: несмотря на свою мощность, ELMo требует меньше вычислительных ресурсов по сравнению с более новыми и сложными моделями, такими как BERT. Это делает связку ELMo и полно связного слоя привлекательной для случаев, когда доступ к мощным вычислительным ресурсам ограничен, сохраняя при этом высокое качество обработки текста. [5]

Таким образом, комбинация ELMo и полно связного слоя предлагает гибкое и мощное решение для анали-

Таблица 2.

Архитектуры для векторных представлений

Алгоритм	Краткое описание	Преимущества	Недостатки
Word2Vec	Модель для генерации векторных представлений слов, обучаемая на контексте их встречаемости. Позволяет словам с похожим значением иметь близкие векторы в пространстве. [3]	Эффективность в извлечении семантических и синтаксических отношений между словами. Подходит для улучшения многих NLP задач. Требует меньше вычислительных ресурсов по сравнению с более новыми моделями.	Не учитывает контекст, в котором используется слово (одинаковые векторы для всех значений слова). Ограниченность в обработке новых или редких слов.
ELMo	Глубокая контекстуализированная модель для создания эмбеддингов слов, использующая двунаправленные LSTM сети для учета как левого, так и правого контекста слова в тексте. [3]	Генерирует динамические эмбеддинги, отражающие разные значения слова в зависимости от контекста языковых нюансов.	Требует значительных вычислительных ресурсов для обучения и использования. Может быть избыточным для некоторых более простых задач NLP.
Transformers	Инновационная архитектура, основанная на механизме внимания, позволяющая модели одновременно обрабатывать все части входных данных, в отличие от последовательной обработки в RNN и LSTM.	Обеспечивает высокую эффективность обработки параллельных данных и глубокое понимание контекста благодаря механизму внимания; позволяет моделям лучше улавливать сложные зависимости в данных.	Требует значительных вычислительных ресурсов, особенно для обучения на больших датасетах. Сложность архитектуры может увеличить время разработки и интеграции моделей.

за текстов, обеспечивая глубокое понимание контекста и семантики при относительно низких требованиях к вычислениям.

Перед тем, как рассмотреть архитектуру ELMo, для начала необходимо рассмотреть, как работают рекуррентные нейронные сети (RNN/LSTM).

Рекуррентная нейронная сеть (RNN) — это класс нейронных сетей, который эффективно обрабатывает последовательные данные (например, временные ряды или текст). В отличие от традиционных нейронных сетей, которые предполагают независимость между входами, RNN использует информацию о предыдущих состояниях для влияния на выход текущего состояния [6]. Это делает RNN особенно подходящими для задач, где контекст или порядок входных данных важны для получения корректного вывода.

Основной шаг рекуррентной нейронной сети может быть выражен следующей формулой 1:

$$h_t = \sigma\left(W \cdot x_t + U \cdot h_{t-1} + b\right), \quad (1)$$

где h_t— скрытое состояние на шаге t;

x_t — вход на шаге t;

W и U — весовые матрицы;

b — вектор смещения.

Формула 1 показывает, как на каждом шаге t текущее скрытое состояние h_t вычисляется на основе текущего входа x_t и предыдущего скрытого состояния h_{t-1}. Это позволяет RNN передавать информацию от шага к шагу во времени. Блок RNN сети представлен на Рисунке 1 [7].

Также важно уделить внимание архитектуре LSTM (Long Short-Term Memory), поскольку алгоритм ELMo, выбранный для классификации текстов, использует именно LSTM блоки для обработки текстовых данных. Это обусловлено способностью LSTM эффективно работать с длинными зависимостями в данных благодаря специализированным механизмам контроля потока информации.

LSTM управляет потоком информации через три основных компонента: входной вентиль (input gate), забывающий вентиль (forget gate) и выходной вентиль (output gate). Эти вентили определяют, какая информация будет сохранена, обновлена или удалена. Скрытое состояние h_t и состояние C_t обновляются на каждом шаге времени t с учетом текущего входа x_t и предыдущего скрытого состояния h_{t-1}:

Забывающий вентиль, определяющий какая информация из состояния ячейки будет удалена [7], представлен в формуле 2:

$$f_t = \sigma\left(W_f \cdot \left[h_{t-1}, x_t\right] + b_f\right), \quad (2)$$

где f_t — вектор забывающего вентиля на шаге t;

W_f — весовая матрица для забывающего вентиля t;

$[h_{t-1}, x_t]$ — конкатенация предыдущего скрытого состояния и текущего входа;

b_f — вектор смещения;

σ — сигмоидальная функция активации.

Входной вентиль, определяющий какая новая информация будет добавлена в состояние ячейки [7], представлен в формуле 3:

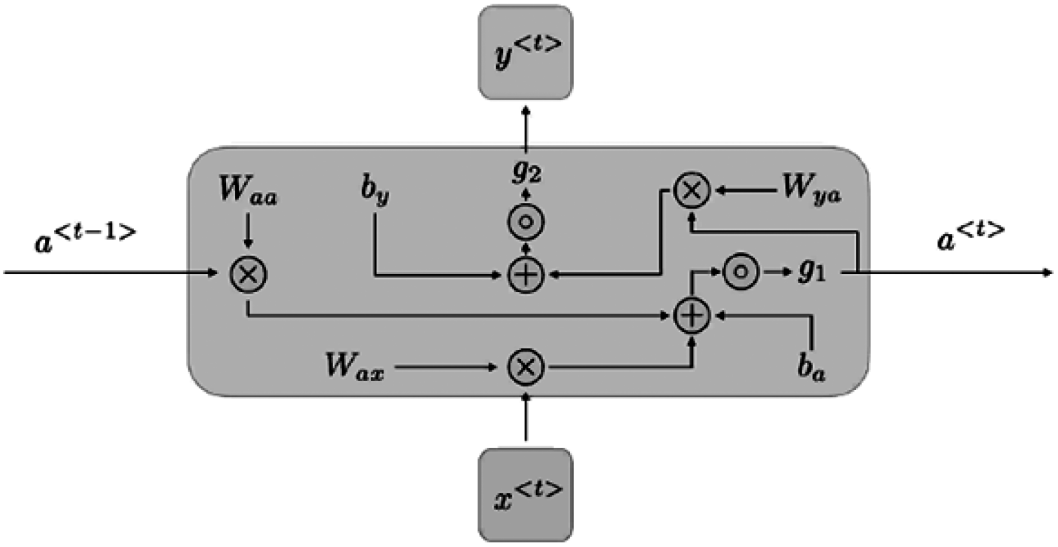


Рис. 1. Блок рекуррентной сети

$$\begin{cases} i_t = \sigma\left(W_i \cdot \left[h_{t-1}, x_t\right] + b_i\right), \\ \tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot \left[h_{t-1}, x_t\right] + b_c), \end{cases} \quad (3)$$

где i_t — вектор входного вентиля,

$\tilde{C}_t$ — вектор кандидата состояния ячейки;

W_c и W_i — весовые матрицы;

b_c и b_i — вектор смещения;

tanh — гиперболический тангенс.

Обновление состояния ячейки происходит путем умножения предыдущего состояния на забывающий вентиль (чтобы удалить ненужную информацию) и добавления новой информации [7] (формула 4):

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t, \quad (4)$$

где C_t — новое состояние ячейки на шаге *t*;

C_{t-1} — предыдущее состояние ячейки.

Вентиль выходного состояния. Он отвечает на вопрос о том, сколько информации из долговременной памяти следует отдавать на выход из LSTM-блока [7]. Доля вычисляется по формуле 5:

$$\begin{cases} o_t = \sigma(W_o \cdot \left[h_{t-1}, x_t\right] + b_o), \\ h_t = O_{t^*} \tanh(C_t) \end{cases} \quad (5)$$

где O_t — вектор выходного вентиля;

h_t— скрытое состояние на шаге *t*, представляет собой выход LSTM-ячейки;

W_o — весовая матрица для выходного вентиля;

b_o — вектор смещения;

tanh — гиперболический тангенс.

Наглядно работа архитектуры LSTM представлена на Рисунке 2 [8]:

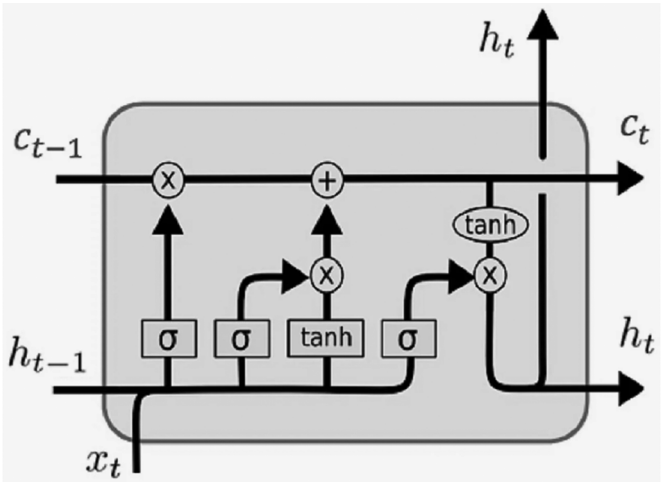


Рис. 2. Блок LSTM сети

Перейдем непосредственно к алгоритму ELMo. Алгоритм предназначен для генерации контекстуализированных представлений слов, учитывая их использование в тексте для обеспечения глубокого понимания языковых особенностей. Процесс работы алгоритма условно делится на две основные фазы: создание представлений слов на основе их контекста и их дальнейшее использование для решения конкретных задач обработки естественного языка, включая классификацию текстов. [9]

Для формирования контекстуализированных представлений слов ELMo использует двунаправленный LSTM в обучении, так что его языковая модель понимает не только следующее слово, но и предыдущее слово в предложении. Он содержит 2-слойную двунаправленную магистраль LSTM. Остаточное соединение добавляется между первым и вторым слоями. Остаточные соединения используются для того, чтобы градиенты проходили через сеть напрямую, не проходя через нелинейные функции активации. [10]

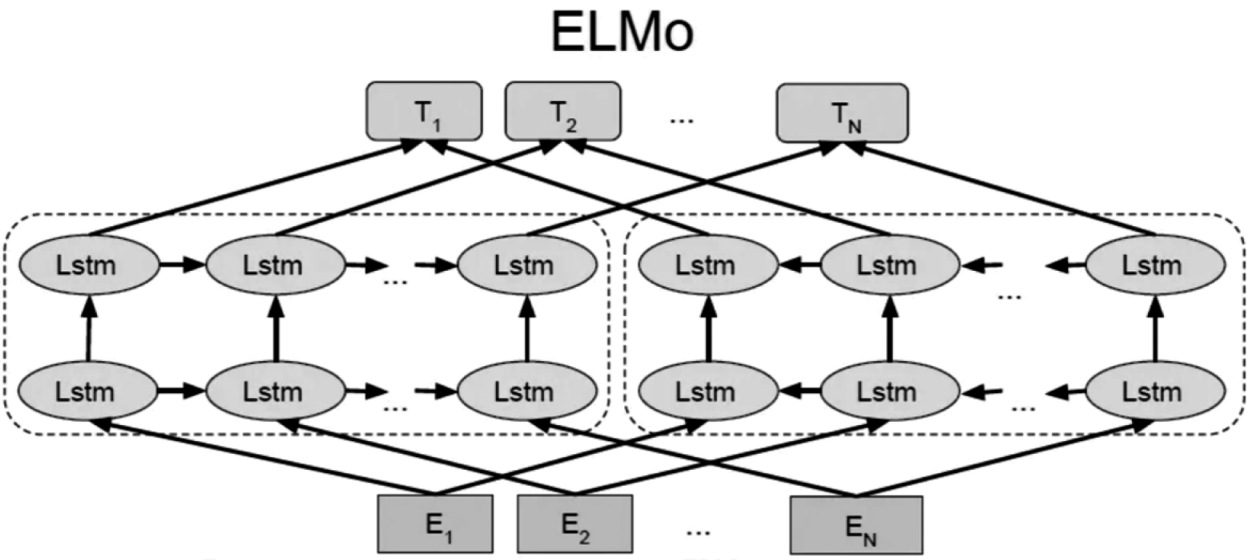


Рис. 3. Архитектура ELMo

Архитектура ELMo представлена на Рисунке 3 [11].

ELMo, аналогично большинству современных архитектур глубоких нейронных сетей, применяет метод градиентного спуска для оптимизации весов в ходе процесса обучения.

В контексте оптимизации параметров в процессе обучения, актуальностью обладает рассмотрение адаптивных методов оптимизации, среди которых выделяется AdamW. Данный метод применим к сложным архитектурам глубоких нейронных сетей, в том числе ELMo. AdamW является модификацией метода Adam, дополненной регуляризацией весов, чтобы эффект регуляризации не затухал со временем, и обобщающая способность модели была выше. [12]

Что же касаемо функции потерь, в данном случае, когда задача классификации текстов может быть сведена к определению принадлежит ли текст к одной из двух категорий (например, текст написан человеком или сгенерирован машиной), подходящим выбором является функция потерь «binary_cross_entropy_with_logits». Расчет для одного шага в процессе обучения модели может быть выражен по формуле (6):

$$l(x,y) = -\omega\left[y\log(\sigma(x)) + (1-y)\cdot\log\left(1-\sigma(x)\right)\right], \quad (6)$$

где ω — весовой коэффициент, который можно использовать для балансировки вклада разных классов в функцию потерь;

x — предсказанное значение модели для *i*-го объекта (логит);

y — истинная метка для *i*-го объекта, 0 или 1;

$\sigma(x)$ — сигмоидная функция, применяемая к логиту.

Эта функция потерь является расширением классической бинарной кросс-энтропии, которая обычно используется в задачах бинарной классификации. Особенность функции «binary_cross_entropy_with_logits» заключается в том, что она объединяет в себе сигмоидное преобразование и вычисление бинарной кросс-энтропии в одном шаге, что повышает численную стабильность процесса обучения по сравнению с использованием отдельной сигмоидной функции активации и последующего расчета кросс-энтропии. [13]

После выбора ключевых инструментов и алгоритмов, необходимо перейти к обзору и предобработке выбранного набора данных.

В контексте идентификации оригинальности текста задача нейронной сети заключается в анализе текстовых данных для выявления уникальных и повторяющихся паттернов, указывающих на потенциальное авторство студента или принадлежность текста к сгенерированным языковыми моделями. Важно на этапе предобработки определить и обработать входные данные таким образом, чтобы нейронная сеть могла эффективно извлекать и анализировать характеристики текста, включая стилистику, структуру и лексическое разнообразие, которые могут служить индикаторами его происхождения.

Данные для обучения модели играют важную роль для обучения модели машинного обучения. Они должны включать широкий спектр стилей и тем, чтобы обеспечить модель достаточным разнообразием для обучения. Важно, чтобы тексты охватывали разные области знаний и уровни сложности, что позволит системе точно классифицировать и идентифицировать особенности текстов, характерные для человеческого автора или языковой модели.

К тому же тексты должны быть актуальными и отражать реальные сценарии использования языка, что увеличит точность модели при её применении в реальных условиях.

В данной статье использовался набор данных, собранный из открытых источников и специализированных платформ, таких как Kaggle. [14]

Набор данных включает в себя многообразие сочинений, написанных школьниками старших классов и студентами на различные темы, а также сочинения, сгенерированные искусственными языковыми моделями под эти же темы. Объем собранных текстов составляет 1 Гб, что обеспечивает широкий спектр лингвистических и стилистических особенностей для анализа.

Также выбранный набор данных изначально не размечен, следовательно, придётся выделить тренировочную и обучающую выборки. При простом случайном разделении на тренировочное и тестовое множества может случиться так, что распределения тренировочного и тестового множеств окажутся не такими, как у всего исходного множества. На помощь в такой ситуации может прийти стратификация: разбиение на обучающую и тестовую выборки, сохраняющее соотношение классов, представленное в исходном наборе данных. Стратификация обеспечит сбалансированное представление разных типов текстов в обеих выборках, позволяя тем самым точно оценить эффективность модели.

Предобработка данных играет важную роль в задачах, связанных с текстами, поскольку качество и эффективность конечных результатов алгоритмов машинного обучения напрямую зависят от чистоты и структурированности входных данных.

Предобработка текстовых данных начинается с нормализации текста. Нормализация текста — это предварительный этап в NLP, который позволяет преобразовать исходный текст в такую форму, которая будет легко интерпретироваться алгоритмами машинного обучения, это включает в себя приведение всего текста к одному регистру, удаление пунктуации, лишних пробелов, табуляций и других неинформативных символов. Это необходимо для того, чтобы уменьшить шум в данных и упростить последующие этапы обработки, такие как токенизация и векторизация. [15]

Далее следует токенизация. Токенизация — процесс разбиения текста на более мелкие единицы, называемые токенами. Токены могут быть словами, фразами, символами или даже отдельными буквами. Токенизация является важным шагом, так как она определяет базовые единицы, с которыми будет работать модель машинного обучения. [16]

После токенизации может последовать лемматизация. Лемматизация — это процесс группировки различных флективных форм слов, имеющих один и тот же корень или лемму, для лучшего анализа и операций NLP. Алгоритм лемматизации удаляет аффиксы из изменяемых слов, чтобы преобразовать их в базовые слова. Стемминг же урезает слова до их корней, что иногда может быть менее точным, но более быстрым методом. Оба этих подхода помогают снизить сложность модели и ускорить процесс обучения. [17]

На Рисунках 4–5 представлены примеры исходного и пред обработанного текста.

Качественная предобработка данных не только улучшает результаты классификации текстов, но и обеспечивает более глубокое понимание контекста. А также повышает обобщающую способность нейросетевых алгоритмов.

После предобработки данных необходимо разбить выборку на три части: обучающую, валидационную и тестовую. Обучающей выборке будет положено 70 % данных, валидационной — 15 %, а на тестовую придутся оставшиеся 15 % данных.

Также нужно обратить внимание на исходный баланс классов, представленный на Рисунке 6, так как это повлияет на подход к реализации для избежания переобучения модели на определенном классе.

После оптимизации и структурирования данных, можно перейти к реализации и тестированию самого алгоритма.

Эффективное обучение модели требует организованной подачи данных по батчам, что способствует оптимизации использования памяти и ускорению процесса обучения. В этом контексте компонент DataLoader библиотеки PyTorch играет ключевую роль, автоматизируя загрузку данных и предоставляя эффективные инструменты для итерации по данным во время тренировки модели.

В основном, DataLoader работает с объектом Dataset. Чтобы использовать DataLoader, необходимо поместить данные в оболочку Dataset.

Однако, учитывая, что классы в наборе данных не сбалансированы, важно использовать сбалансированный сэмплер. Сбалансированный сэмплер гарантирует, что в каждом батче будет равное представление каждого класса, что предотвращает доминирование численно преобладающих классов и помогает улучшить обобщающую способность модели на менее представленных классах. [18]

Это было самое пляжное лето из всех, что я помню! Уже с начала июня всё говорило о том, мы с друзьями и родителями будем проводить много времени на солнце. Воздух быстро нагрелся и стало жарко. Мы часто ходили на пляж, хоть и купаться пока было рановато. Вместо этого я и мои подруги долго гуляли по берегу босыми.

Потом пришло время ненадолго расстаться — мы с родителями уезжали на Чёрное море. Уже в аэропорту я поняла, что наша «домашняя» жара — это ничто. Солнце пекло так, что было тяжело дышать. Самое то, чтобы побыть у моря. Этим мы и занялись, когда завезли вещи в отель. В июле в Сочи самый разгар сезона. На пляже было много народу, поэтому в первый день мы лишь ходили по мелководью. Зато во все последующие успевали занять место и почти не вылезали из воды.

Также за время отпуска мы несколько раз побывали в аквапарке и парке развлечений. Карусели меня не удивили, зато колесо обозрения — ещё как! Оно такое огромное — с его вершины весь Сочи как на ладони! Я даже сделала несколько памятных фотографий. Теперь они висят, приколотые к пробковой доске в моей комнате.

Многие говорят, что уезжать из путешествия грустно, но не я. Я садилась в самолёт, наполненная воспоминаниями и отдохнувшая. А ещё я знала, что дома меня ждут друзья. Остаток лето мы с ними провели вместе на городском пляже. Играли в волейбол и купались, пока вода совсем не остыла.

Это наполненное солнцем лето навсегда останется в моей памяти. Надеюсь, мы с ним ещё встретимся!

Рис. 4. Пример исходного текста

{'моря', 'отель', 'ещё', 'говорят', 'так', 'встретимся', 'дышать', 'чтобы', 'народу', 'наша', 'также', 'что', 'в', 'том', 'первый', 'все', 'но', 'фотографий', 'пляжное', 'воды', 'грустно', 'день', 'подруги', 'уезжали', 'расстаться', 'самый', 'друзья', 'много', 'аквапарке', 'по', 'его', 'даже', 'завезли', 'карусели', 'друзьями', 'помню', 'памятных', 'а', 'побыть', 'занялись', 'море', 'будем', 'удивили', 'памяти', 'стало', 'июня', 'когда', 'несколько', 'берегу', 'доске', 'наполненное', 'воздух', 'жарко', 'жара', 'времени', 'дома', 'солнце', 'вместо', 'пришло', 'поняла', 'вершины', 'весь', 'остыла', 'начала', 'у', 'занять', 'комнате', 'хоть', 'садилась', 'сочи', 'купались', 'уже', 'то', 'развлечений', 'тяжело', 'июле', 'пекло', 'во', 'всё', 'ним', 'это', 'побывали', 'играли', 'вода', 'отпуска', 'как', 'гуляли', 'ничто', 'поэтому', 'они', 'пробковой', 'и', 'сделала', 'навсегда', 'нагрелся', 'долго', 'пляж', 'всех', 'чёрное', 'быстро', 'разгар', 'о', 'говорило', 'моей', 'ждут', 'провели', 'босыми', 'потом', 'рановато', 'уезжать', 'я', 'знала', 'надеюсь', 'родителями', 'сезона', 'вещи', 'за', 'мелководью', 'мои', 'висят', 'раз', 'домашняя', 'ненадолго', 'пляже', 'не', 'с', 'такое', 'наполненная', 'самое', 'теперь', 'этого', 'обозрения', 'на', 'ними', 'место', 'волейбол', 'многие', 'останется', 'часто', 'колесо', 'вместе', 'этим', 'остаток', 'парке', 'проводить', 'время', 'оно', 'солнцем', 'из', 'аэропорту', 'последующие', 'меня', 'воспоминаниями', 'к', 'путешествия', 'лишь', 'отдохнувшая', 'совсем', 'вылезали', 'приколотые', 'лето', 'огромное', 'почти', 'ладони', 'мы', 'зато', 'пока', 'ходили', 'купаться', 'городском', 'самолёт', 'было', 'успевали'}

Рис. 5. Пример пред обработанного текста

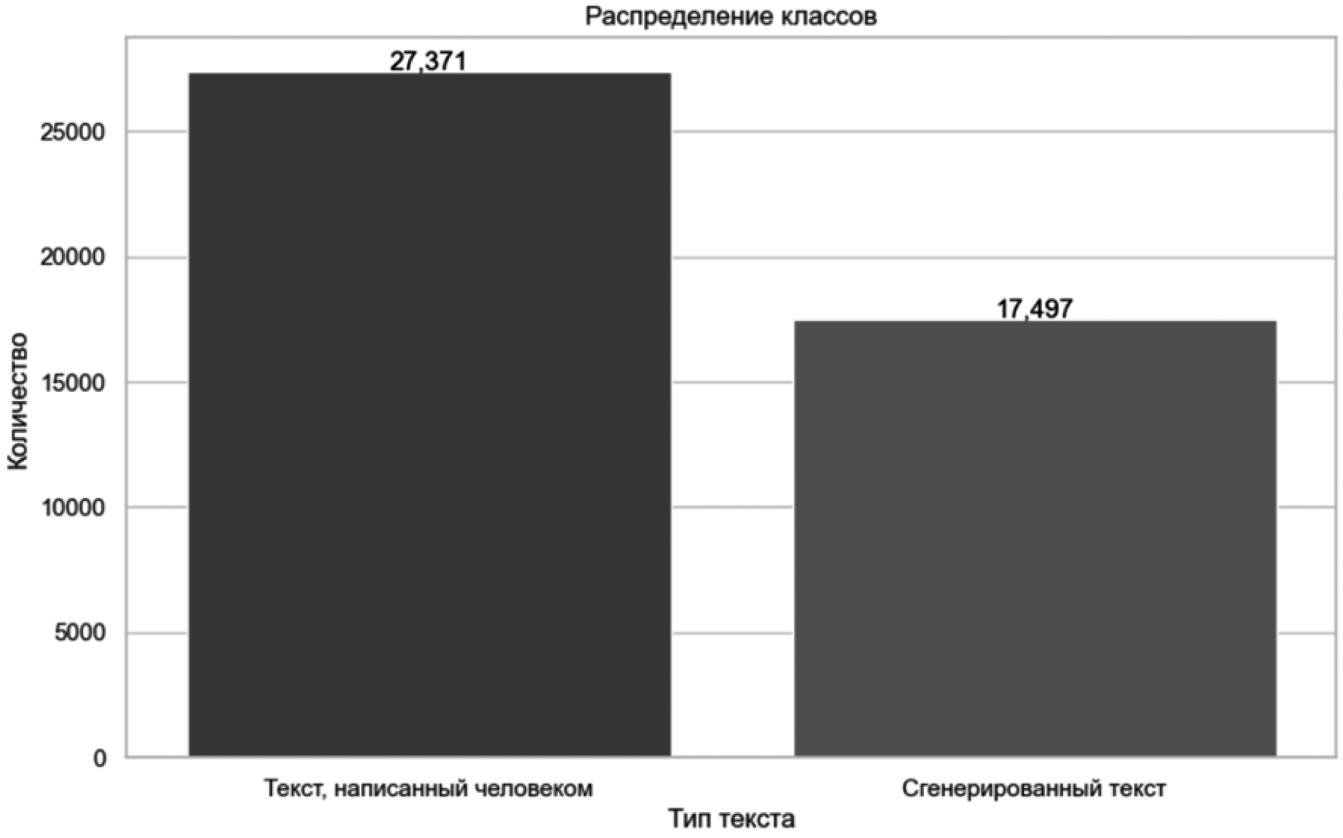


Рис. 6. Исходное распределение классов

Что касается архитектуры модели, ELMo используется в качестве основы для извлечения признаков, которые затем передаются в последующие слои нейронной сети.

В контексте текущего исследования архитектура модели дополнена полно связными слоями (FC), которые используются для дальнейшей обработки и классификации выходных данных ELMo. Эти слои позволяют формировать более сложные зависимости между представлениями слов и итоговыми классами текстов, улучшая способность модели к обобщению и точности классификации.

Такая многоуровневая архитектура модели способствует созданию мощной системы обработки текстов, способной адаптироваться к разнообразным и динамично изменяющимся условиям использования в образовательной сфере. Это, в свою очередь, обеспечивает повышение эффективности и точности в задачах классификации текстов.

Сам процесс разбивается на следующие шаги:

A. Загрузка данных: данные загружаются батчами с использованием DataLoader, который обеспечивает эффективное перемешивание и распределение данных, а также балансировку классов.
B. Прямой проход (Forward Pass): В каждом батче данные подаются в модель, которая выполняет прямой проход, вычисляя предсказания на основе текущих весов.
C. Вычисление потерь: на основе предсказаний модели и истинных значений вычисляется значение функции потерь, используя ранее определенную binary_cross_entropy_with_logits.
D. Обратное распространение (Backward Pass): вычисляется градиент функции потерь по отношению к весам модели, который затем используется для обновления весов с помощью оптимизатора.
E. Обновление параметров: оптимизатор применяет вычисленные градиенты для обновления весов модели, что должно привести к уменьшению потерь в следующих итерациях.
F. Адаптация скорости обучения: планировщик обучения может корректировать скорость обучения в зависимости от текущего шага, что помогает модели более эффективно сходиться к оптимальному решению;
G. Логирование результатов обучения: запись всех метрик в лог, а также сохранение параметров модели. [19]

Также, после каждой эпохи, производится валидация модели на отдельном наборе данных, который не ис-

пользовался во время обучения. Это позволяет оценить, как модель будет работать на незнакомых данных, и является важным шагом для предотвращения переобучения. График функции потерь и ключевой метрики во время обучения представлен на Рисунках 7–8.

После того, как нейросетевой алгоритм реализован и обучен, необходимо провести оценку на тестовом наборе данных. Это позволит оценить его обобщающую способность для новых данных.

Для оценки модели будут использовать следующие метрики: accuracy и коэффициент Gini. Каждая из упомянутых метрик будет полезна, так как в совокупности они предоставляют широкий обзор эффективности модели.

Accuracy — доля объектов, для которые правильно предсказали класс. Этот показатель может служить ориентиром для первоначального понимания эффективности модели. Однако его применение может быть не совсем практичным при работе с данными, где классы распределены неравномерно. [20]

Формально, точность (Accuracy) для задачи классификации определяется по формуле (6):

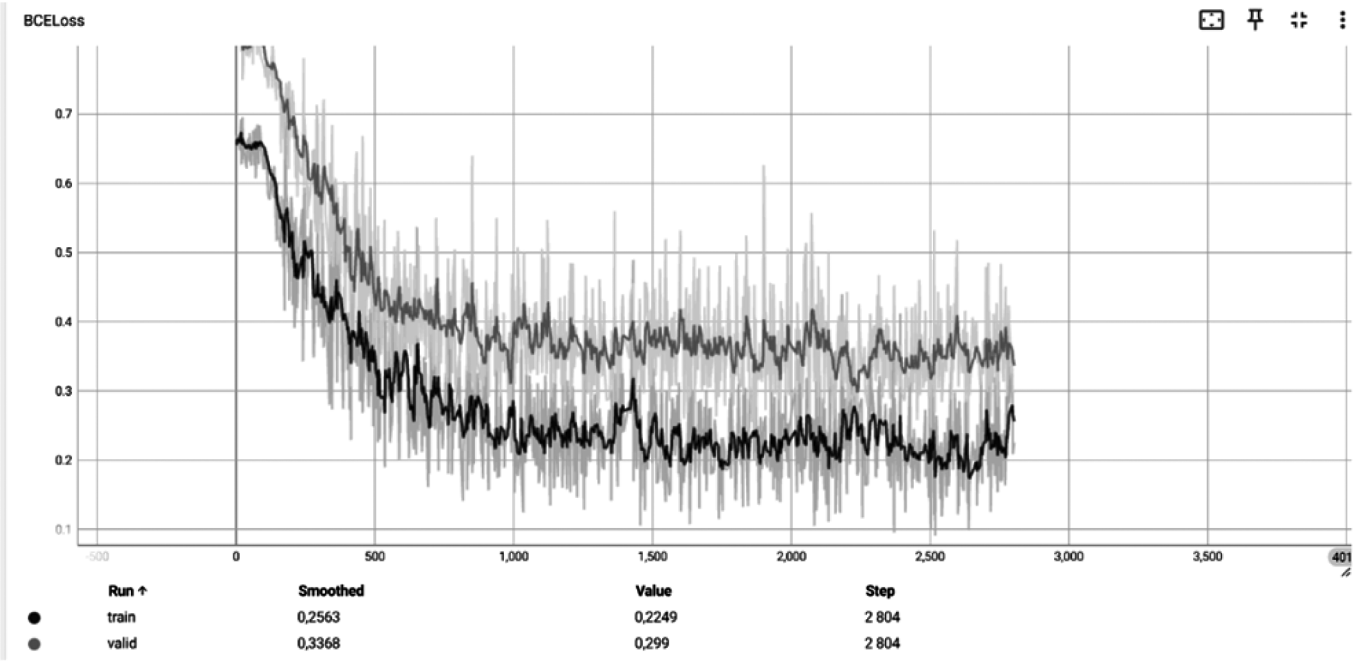


Рис. 7. График функции потерь во время обучения

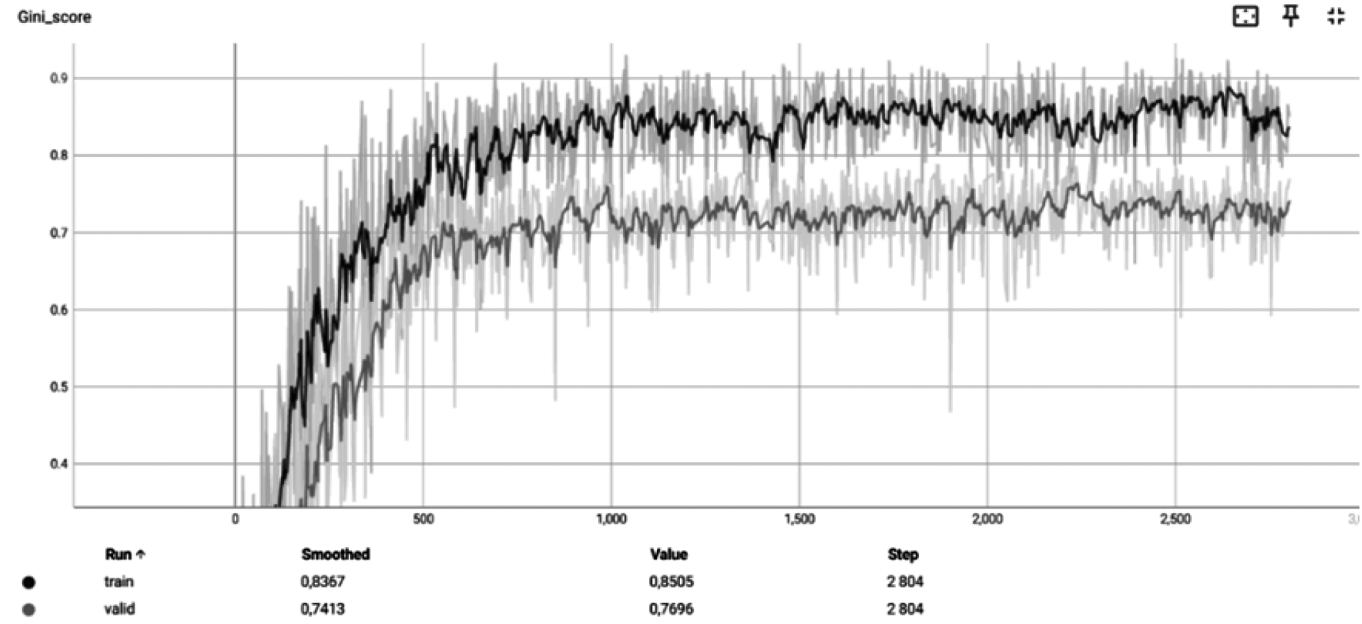


Рис. 8. График коэффициента Gini во время обучения

$$Accuracy\left(y,\hat{y}\right)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\mathrm{I}\left[y_i=f\left(x\right)\right], \quad (6)$$

где I — индикаторная функция, которая равна 1, если предсказанное значение $f\left(x\right)$ равно истинной метке y_i, и 0 — в противном случае;

$f\left(x\right)$ — предсказанное значение модели для *i*-го примера;

y_i — истинная метка для *i*-го примера;

N — количество всех элементов.

Коэффициент Джини (Gini coefficient) — метрика качества, которая часто используется при оценке предсказательных моделей в задачах бинарной классификации в условиях несбалансированности классов целевой переменной. Коэффициент Джини применяется для количественной оценки разделения классов, где значение 0 соответствует отсутствию разделения, а 1 — идеальному разделению. [21]

Коэффициент Джини (Gini coefficient) определяется по формуле (7):

$$Gini=2\times AUC-1 \quad (7)$$

где AUC — это площадь под кривой ошибок классификации, т. е. доля пар объектов вида (объект класса 1, объект класса 0), которые алгоритм верно упорядочил.

В ходе оценки модели на тестовой выборке были получены результаты, отраженные в Таблице 3.

Таблица 3.

Результаты оценки модели

Метрика	Значение
Gini coefficient	0.81
Accuracy	0.88

Из результатов видно, что значение Коэффициент Джини (Gini coefficient) равен 0.81. Это означает очень хорошее разделение классов, что делает модель достаточно надежной в плане идентификации принадлежности объектов к одному из двух классов.

Значение accuracy говорит нам о том, что в 88 % случаев мы правильно идентифицируем класс объекта. Такой уровень точности может свидетельствовать о хорошем качестве модели.

Также на Рисунках 9–10 представлен пример работоспособности модели на двух коротких примерах: сгенерированном сочинении и написанной человеком.

На первом примере проверим текст, сгенерированный с помощью языковой модели ChatGPT.

```
if __name__ == "__main__":
    # Загрузка модели
    elmo = ELMo.load_model("logs/2024-05-21_14-08-59")
    text = input("Введите текст: ")

    # Преобразование текста в токены
    inputs_token = dataset.to_tokens_ids(text)

    out_probabilities = elmo.model(inputs_token)

    print(f"Вероятность: {out_probabilities:.4f}")
```

Executed at 2024.05.21 18:43:57 in 3s 522ms

```
Модель загружена: logs/2024-05-21_14-08-59
Вероятность: 0.7763
```

Рис. 9. Проверка сгенерированного текста

В данном примере, вероятность того, что текст сгенерирован с помощью ИИ составляет 77.6 %.

Далее проверим текст, написанный школьником в качестве сочинения.

```
if __name__ == "__main__":
    # Загрузка модели
    elmo = ELMo.load_model("logs/2024-05-21_14-08-59")
    text = input("Введите текст: ")

    # Преобразование текста в токены
    inputs_token = dataset.to_tokens_ids(text)

    out_probabilities = elmo.model(inputs_token)

    print(f"Вероятность: {out_probabilities:.4f}")
```

Executed at 2024.05.21 18:43:33 in 3s 537ms

```
Модель загружена: logs/2024-05-21_14-08-59
Вероятность: 0.2429
```

Рис. 10. Проверка текста, написанного человеком

Здесь же, вероятность того, что текст сгенерирован с помощью ИИ составляет всего 24.2 %.

Подытожив все результаты метрик и тестирования, можно сделать вывод, что разработанная модель нейронной сети эффективно классифицирует тексты, созданные студентами от текстов созданными языковыми моделями, что позволяет её легко интегрировать в образовательную информационную систему. Разработанная модель нейронной сети окажет значительную поддержку в поддержании академической честности и будет служить надежным инструментом для образовательных учреждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. FasterCapital [Электронный ресурс]. — Нейронные сети: как использовать нейронные сети для прогнозирования инвестиций. — Режим доступа: https://clck.ru/3BNc5v
2. Спивак А.И., Лапшин С.В., Лебедев И.С. Классификация коротких сообщений с использованием векторизации на основе ELMO // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2019. — № 10. — С. 410–418.
3. Боровков Н.А., Фураев Ф.И. Использование языковой модели ELMO для задачи аспектно-ориентированного анализа тональности // Сборник докладов Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (СПб.). — 2019. — Том, Часть I. — С. 301–305.
4. QUData [Электронный ресурс]. — ML: Буквенный и семантический эмбединг. — Режим доступа: https://qudata.com/ml/ru/NN_Embedding_Elmo.html
5. Medium [Электронный ресурс]. — NLP Step-by-Step Guide to Learning ELMo to Extract Functions from Text. — Режим доступа: https://medium.com/analytics-vidhya/a-step-by-step-nlp-guide-to-learn-elmo-for-extracting-features-from-text
6. Сухарев А.Л., Жалнин Р.В., Федосин С.А. Разработка и реализация автоматизированного мордовско-русского переводчика на основе искусственных нейронных сетей LSTM-RNN // Научно-технический вестник Поволжья. — 2019. — № 6. — С. 126–128.
7. Гранкина Д.М., Макаров К.С. Алгоритм LSTM для прогнозирования будущих трат с использованием данных временных рядов // Сборник научных статей по материалам III Всероссийской конференции, Курск. — 2022. — С. 109–121.
8. Zheng Y., Han L., Yu J., Yu R. Driving risk assessment under the connected vehicle environment: a CNN-LSTM modeling approach // Digital Transportation and Safety. — 2023. — № 2(3). — С. 211–219.
9. Skiba A., Batura T. Comparison of ELMO-based models on the named entity recognition task // Bulletin of the Novosibirsk Computing Center. Series: Computer Science. — 2023. — № 47. — С. 33–41.
10. Medium [Электронный ресурс]. — Learn how to build powerful contextual word embeddings with ELMo. — Режим доступа: https://medium.com/saarthi-ai/elmo-for-contextual-word-embedding-for-text-classification-24c9693b0045.
11. Русские Блоги [Электронный ресурс]. — Понимание BERT: исчерпывающее руководство по революционной структуре НЛП. — Режим доступа: https://russianblogs.com/article/58971605085/
12. Монтик Н.С. Сравнение различных оптимизаторов на датасете MNIST и его вариациях при использовании функции LeakyReLU // Сборник статей Международной научно-практической конференции. — 2024. — С. 182–187.
13. PyTorch [Электронный ресурс]. — BCEWithLogitsLoss. — Режим доступа: https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.BCEWithLogitsLoss.html
14. Kaggle [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.kaggle.com/
15. Фомин В.В., Фомина И.К. Исследование эффективности части-речевой нормализации в NLP-алгоритмах классификации русскоязычных текстов // Актуальные проблемы экономики и управления. — 2022. — № 3(36). — С. 87–91.
16. Your Todo [Электронный ресурс]. — Обработка текстов в нейронных сетях. — Режим доступа: https://www.yourtodo.ru/posts/obrabotka-tekstov-v-nejronnyih-setyah/
17. Жердева М.В., Артюшенко В.М. Стемминг и лемматизация в Lucene.NET // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. — 2016. — Т. 20. — № 3. — С. 131–134.
18. Татаренков В.С. Программная реализация собственного набора данных лиц пользователей для выполнения обучения нейронной сети в системе идентификации и аутентификации по лицу с помощью инструментов библиотеки PyTorch // Сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научной конференции, Санкт-Петербург. — 2022. — С. 28–31.
19. Habr [Электронный ресурс]. — Продвинутое использование библиотеки PyTorch: от подготовки данных до визуализации. — Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/553716/
20. Гурина А.О., Елисеев В.Л. Критерий оценки качества классификации за пределами обучающей выборки // Вестник Московского энергетического института. — 2022. — № 1. — С. 98–110.
21. Turkoglu M.O., D'Aronco S., Wegner J.D., Schindler K. Gating Revisited: Deep Multi-Layer RNNs That Can be Trained // ICLR 2020 Conference Withdrawn Submission. — 2019.

© Алексеева Екатерина Сергеевна (machkt@yandex.ru); Трушин Степан Михайлович (trushin@mirea.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.03

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МАРШРУТИЗАЦИИ ПАЦИЕНТОВ ПО СИМПТОМАМ

INTELLIGENT RECOMMENDATION SYSTEM FOR PATIENT ROUTING BASED ON SYMPTOMS

I. Ambrosov

Summary. An intelligent recommendation system has been developed for the automated routing of patients in healthcare institutions based on described symptoms. The use of natural language processing and machine learning techniques allows for recommending specialists for initial consultation. The proposed system improves the efficiency of medical care, reduces the workload of primary care physicians, and contributes to the optimization of healthcare resources.

Keywords: intelligent system, patient routing, machine learning, NLP, symptom processing, recommendation system, healthcare.

Амбросов Игорь Александрович
ФГБОУ ВО «СПбГЭУ», г. Санкт-Петербург
cvbzwq1@yandex.ru

Аннотация. Разработана интеллектуальная рекомендательная система для автоматизированной маршрутизации пациентов медицинских учреждений на основе описанных симптомов. Применение методов обработки естественного языка и машинного обучения позволяет рекомендовать профильных специалистов для первичного обращения. Предложенная система повышает эффективность оказания медицинской помощи, снижает нагрузку на врачей первичного звена и способствует оптимизации ресурсов здравоохранения.

Ключевые слова: интеллектуальная система, маршрутизация пациентов, машинное обучение, NLP, обработка симптомов, рекомендательная система, медицинская помощь.

Введение

Состояние здравоохранения является важнейшим показателем социального и экономического развития страны. Российская медицинская система в последние годы сталкивается с серьёзными вызовами: кадровый дефицит, необходимость модернизации инфраструктуры и рост хронических заболеваний [7, с. 321]. Пандемия COVID-19 выявила структурные слабости системы и усилила нагрузку на первичное звено. Одной из острых проблем стала маршрутизация пациентов: сложности в интерпретации симптомов и нехватка специалистов, которая приводит к задержкам диагностики и ухудшению качества помощи [3, с. 443]. Согласно данным Росстата [6] с 2019 по 2024 годы численность медицинских кадров, имеющих высшую и первую квалификационные категории сократилась на 13 %, а среднего медперсонала — на 21 %, что усугубляет доступность медицинской помощи (Рис. 1.).

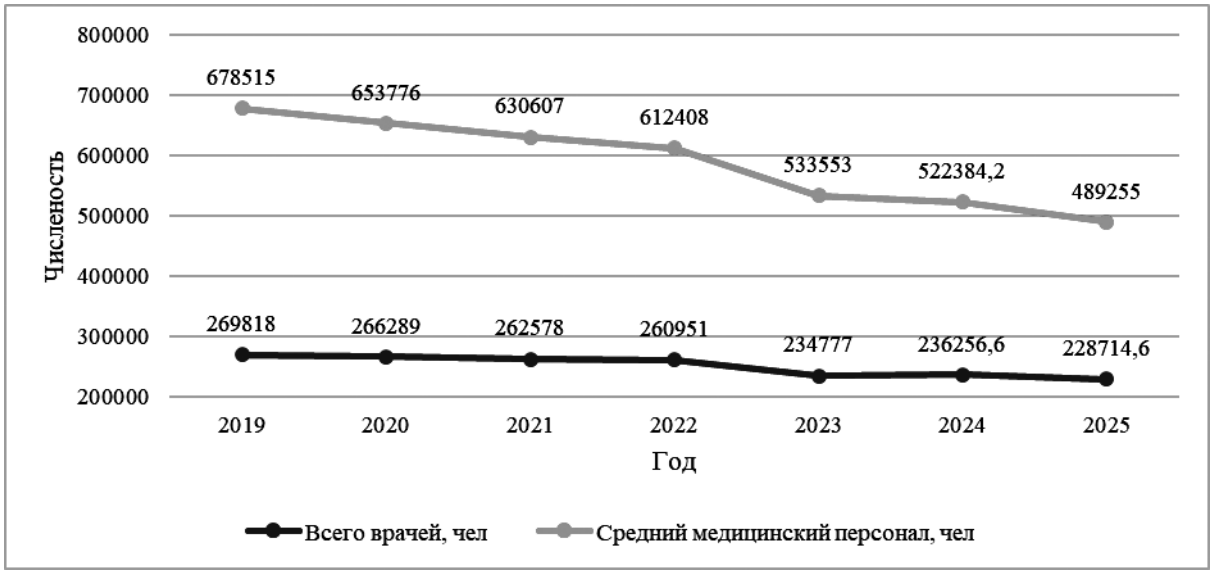


Рис. 1. Численность медицинских кадров, имеющих высшую и первую квалификационные категории с прогнозом на 2025 г., РФ, чел.

При сохранении текущей тенденции, в 2025 году прогнозируется дальнейшее снижение численности медицинских кадров: числа врачей на 3 %, а числа среднего медицинского персонала примерно на 6 % по сравнению с 2024 годом (Рис. 1).

Современные цифровые решения для маршрутизации пациентов часто неэффективны из-за отсутствия интеллектуального анализа текстовых описаний симптомов. В этих условиях всё большее значение приобретают интеллектуальные рекомендательные системы, основанные на технологиях обработки естественного языка (NLP: Natural Language Processing — Обработка естественного языка) и машинного обучения. Они позволяют сократить время поиска нужного специалиста, повысить эффективность первичной медицинской помощи и рационализировать использование ресурсов здравоохранения.

Обзор литературы

Развитие интеллектуальных систем в медицине связано с интеграцией методов машинного обучения и обработки естественного языка для создания систем поддержки принятия врачебных решений (СППР). Эти технологии автоматизируют диагностику, подбор лечения и маршрутизацию пациентов, что особенно важно при дефиците узких специалистов.

Согласно Астаховой и Киселёвой [1, с. 665], интеллектуальные системы повышают эффективность клинических решений за счёт анализа симптомов, анамнеза и лабораторных данных на основе накопленных знаний.

Ахикян и Данилюк [2, с. 1394] демонстрируют устойчивость адаптивных моделей машинного обучения к разнородным медицинским данным, что особенно ценно в изменяющихся клинических условиях. Бритвина [3, с. 443] отмечает, что машинное обучение способствует переходу медицины от реактивной к превентивной модели за счёт анализа больших массивов данных.

Переломова [5, с. 540] обобщает различные подходы, подчёркивая высокую точность диагностики при правильной предобработке данных и выборе моделей, таких как деревья решений и нейронные сети.

Анализ литературы показывает, что маршрутизация пациентов на основе симптомов в основном реализуется через NLP-модели и мультиклассовую классификацию. Однако большинство исследований сосредоточено на диагностике заболеваний, а не на первичном выборе специалиста. В данной работе сделан акцент на разработке рекомендательной системы для оптимизации первичных обращений пациентов (см. Приложение 1), с учётом вариативности описаний и особенностей медицинской практики.

Также следует отметить, что, согласно современным исследованиям, применение технологий искусственного интеллекта в медицинских информационных системах существенно расширяет возможности диагностики и маршрутизации пациентов, снижая вероятность врачебных ошибок и повышая качество обслуживания [7, с. 31].

Таким образом, обзор литературы подтверждает, что интеграция методов машинного обучения и обработки естественного языка является ключевым направлением в развитии систем поддержки принятия врачебных решений. Современные исследования демонстрируют высокую эффективность таких систем в автоматизации диагностики и маршрутизации пациентов, особенно в условиях дефицита медицинских кадров и роста требований к качеству медицинского обслуживания. Однако, несмотря на достигнутые успехи, проблема точного первичного направления пациента к профильному специалисту остаётся недостаточно проработанной. Настоящее исследование направлено на восполнение этого пробела путём создания рекомендательной системы, учитывающей лингвистическую вариативность симптомов и специфические особенности медицинской практики в России.

Методология исследования

Разрабатываемая интеллектуальная система рекомендательного типа направлена на автоматическое определение наиболее подходящего медицинского специалиста на основе текста, вводимого пользователем. В основе системы лежит анализ естественного языка и применение методов машинного обучения. Целью является построение гибкого и расширяемого решения, способного интерпретировать описания симптомов и рекомендовать одного или нескольких релевантных врачей. Система включает этапы обработки текстовых данных, их преобразования в машинно-читаемый формат и последующей классификации (Рис. 2.).

Модуль векторизации отвечает за перевод неструктурированных описаний симптомов в числовые представления, что позволяет алгоритмам машинного обучения анализировать семантические связи между жалобами пациентов и профилями врачей. На этапе классификации модель определяет наиболее вероятные медицинские специальности, соответствующие введенным симптомам, с учетом возможной неоднозначности формулировок.

Такая архитектура (Рис. 2.) обеспечивает высокую адаптивность системы к различным типам входных данных, включая краткие описания и развернутые жалобы. Для обучения и оценки системы была создана собственная база (Рис. 3.), включающая следующую структуру: «Болезнь — Симптомы — Специальность».



Рис. 2. Архитектура рекомендательной системы

№	Болезнь	Симптомы	Специальность
1	Полиомелит	температура;головная боль;рвота;слабость в мыщ...	Инфекционист
2	Птичий грипп	тяжелая дыхательная недостаточность;вирусная п...	Инфекционист
3	Ротавирусная инфекция	тошнота;рвота;диарея;схваткообразные боли в ве...	Инфекционист;педиатр
4	Сибирская язва (кишечная форма)	боли в области желудка;понос;рвота;общая инток...	Инфекционист
5	Сибирская язва (легочная форма)	озноб;температура;покраснение глаз;чихание;каш...	Инфекционист;пульмонолог
...	...	...	...

Рис. 3. Таблица данных

Данные собирались из открытых медицинских порталов таких как «Яндекс. Здоровье» [12], «Здоровье@Mail.ru» [11], «Минздрав РФ» [8], а также проходили верификацию при помощи консультирования с практикующими врачами. Таким образом, был сформирован сбалансированный и очищенный набор данных, пригодный для построения моделей машинного обучения.

Методы обработки и классификации текстовых данных

Для анализа текстовых описаний симптомов применялись современные методы обработки естественного языка и машинного обучения. Основное внимание было уделено двум подходам к векторизации текста: статистическому методу TF-IDF и нейросетевым моделям распределенных представлений слов. TF-IDF использовался в сочетании с различными алгоритмами классификации, включая логистическую регрессию, метод опорных векторов (SVM), случайный лес (Random Forest) и алгоритмы градиентного бустинга (XGBoost и LightGBM). Для учета семантических связей между симптомами применялись нейросетевые модели Word2Vec и FastText, которые особенно эффективны для работы с медицинской терминологией и учитывают морфологические особенности русского языка.

На этапе классификации использовалась многометочная модель, учитывающая возможность соответствия одного набора симптомов нескольким медицинским специальностям. В исследовании сравнивались различные подходы:

A. Простые линейные модели (логистическая регрессия).
B. Метод опорных векторов (SVM).
C. Ансамблевые методы (случайный лес, XGBoost, LightGBM).
D. Нейросетевые модели распределённых представлений (Word2Vec, FastText).

Особое внимание уделялось балансу между точностью классификации, устойчивостью к шуму в данных и интерпретируемостью результатов. Комбинация различных методов векторизации и классификации позволила создать гибкую систему, способную эффективно обрабатывать как структурированные, так и свободные текстовые описания симптомов, обеспечивая точные рекомендации по выбору медицинского специалиста.

Оценочные метрики

Для оценки качества модели применялись стандартные метрики классификации, рекомендованные в исследованиях по машинному обучению в медицинской диагностике [9].

В качестве ключевых метрик использовались Accuracy (Точность), Precision (Прогностическая ценность положительного результата), Recall (Чувствительность) и F1-score (Гармоническое среднее между Precision и Recall). Выбор именно этих показателей обусловлен их широким применением в задачах медицинской классификации и способностью комплексно оценивать качество модели.

Выбранный подход к оценке позволяет не только определить общую эффективность модели, но и проанализировать её способность правильно идентифицировать как положительные, так и отрицательные случаи. Подробное описание методологии расчёта и интерпретации метрик можно найти в соответствующих научных публикациях по машинному обучению в медицине [10].

Результаты классификации

В рамках исследования были протестированы различные модели рекомендаций медицинских специалистов на основе текстовых описаний симптомов. Сравнительный анализ выявил значительные различия в их эффективности, что отражено в таблице 1.

Наилучшие результаты среди протестированных подходов показала модель на основе TF-IDF и алгоритма Random Forest. Данная модель достигла максимального значения точности (Accuracy = 0,949), что отражает высокий уровень правильных предсказаний по всем классам. Кроме того, модель обеспечила уверенные показатели

по ключевым метрикам классификации: прогностическая ценность положительного результата (Precision) составила 0,586, чувствительность (Recall) — 0,486, а гармоническое среднее между ними (F1-score) достигло 0,531.

Таблица 1.

Сравнительные показатели качества моделей

№	Модель	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
1	TF-IDF + Random Forest	0,949	0,586	0,486	0,531
2	FastText + Random Forest	0,164	0,260	0,626	0,367
3	TF-IDF + XGBoost	0,142	0,677	0,156	0,254
4	TF-IDF + Logistic Regression	0,111	0,117	0,599	0,119
5	Word2Vec + Random Forest	0,352	0,360	0,576	0,443
6	TF-IDF + SVM	0,279	0,298	0,521	0,324
7	TF-IDF + LightGBM	0,161	0,579	0,165	0,257

Такой уровень F1-score позволяет говорить о хорошем балансе между способностью модели выявлять релевантных специалистов и минимизацией ложных срабатываний. Высокий показатель Precision подтверждает, что большая часть выданных рекомендаций является обоснованной, что особенно важно в медицинских приложениях, где недопустимы ошибки при направлении пациентов.

Таким образом, модель TF-IDF + Random Forest продемонстрировала наилучшее соотношение точности и надёжности рекомендаций, что позволяет рекомендовать её в качестве основного решения для задачи автоматизированного подбора медицинских специалистов по текстовым описаниям симптомов.

С учётом чувствительности медицинских решений и возможной неоднозначности пользовательских описаний система реализует стратегию top-k рекомендаций: на выходе формируется список из N наиболее вероятных специальностей с указанием индивидуальной вероятности для каждой. Дополнительно введён порог уверенности. Если уверенность классификатора ниже заданного значения, система не даёт однозначной рекомендации или предлагает обратиться к терапевту для первичной диагностики.

Заключение

Целью данного исследования являлась разработка интеллектуальной рекомендательной системы, способной по текстовому описанию симптомов пациента автоматически определять наиболее подходящего медицинского специалиста. Результаты экспериментов показали, что предложенная архитектура системы, основанная на семантическом представлении симптомов через модель TF-IDF и использовании алгоритма Random Forest в многовыводной классификации, обеспечивает обоснованные и достоверные рекомендации. Система достигла показателей F1-мера 0.531, recall 0.486 и accuracy 0.949, что подтверждает достижение поставленной цели.

В рамках работы разработана интеллектуальная система маршрутизации пациентов, которая реализует комплексный анализ текстовых описаний симптомов с применением современных методов обработки естественного языка и машинного обучения. Основное отличие от существующих решений заключается в использовании оригинального алгоритма семантического анализа, который учитывает контекстные особенности и вариативность формулировок симптомов на русском языке. Предложенная система внедряет принципиально новый подход к формированию рекомендаций: вместо единичного направления пациенту предоставляется ранжированный список специалистов с указанием степени соответствия каждого из них описанной симптоматике. Это особенно важно при сложных или пересекающихся симптомах, где традиционные системы дают однозначные, но не всегда точные рекомендации.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

A. Впервые для задачи маршрутизации пациентов на русском языке реализована многометочная классификация с учётом семантики симптомов.
B. Проведено комплексное сравнение векторизаций и классификаторов в рамках медицинской задачи, что позволило выявить оптимальные комбинации методов.

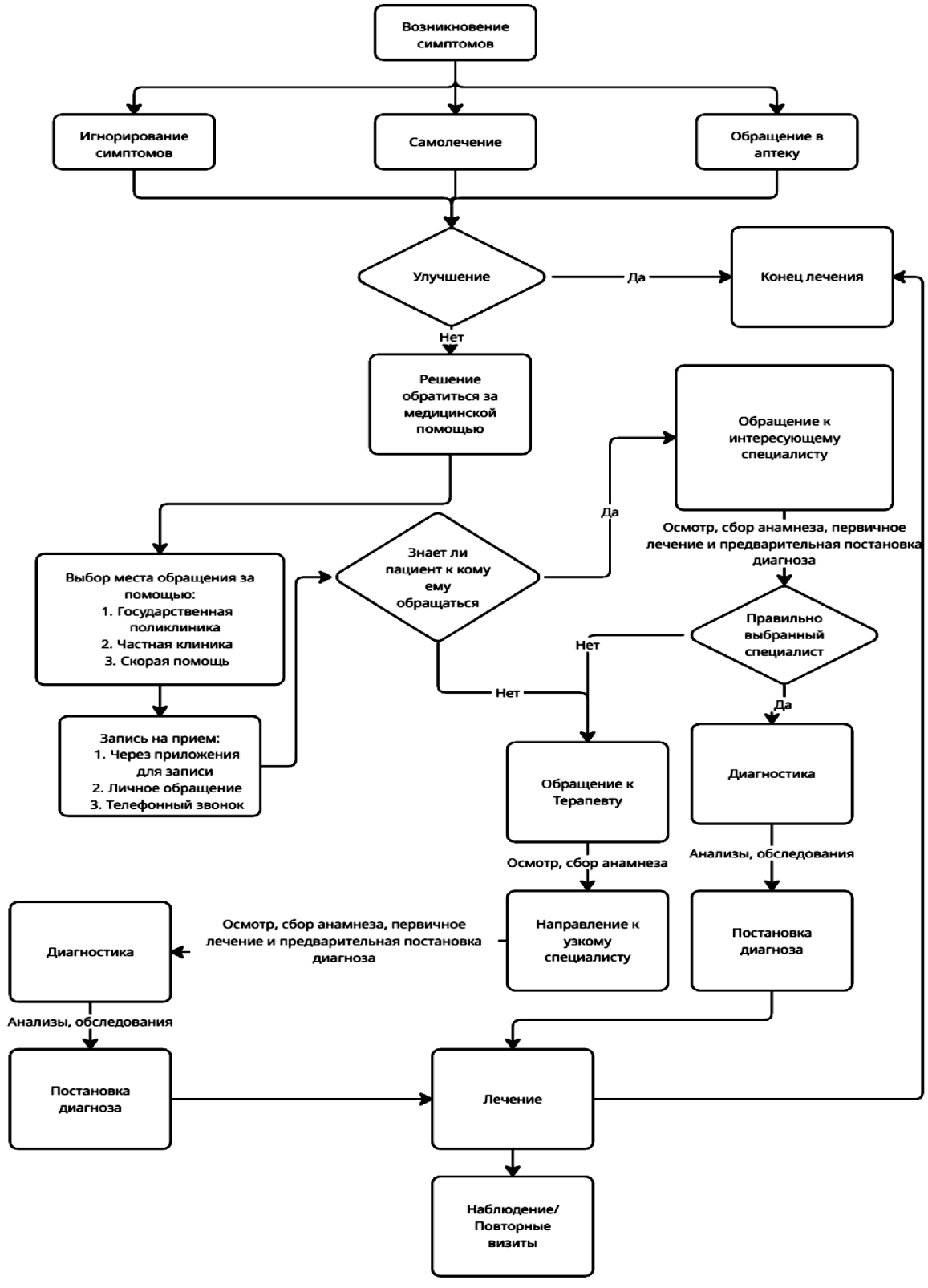
Таблица 2.

Прогресс исследования

Было	Сделано	Предстоит
Отсутствие систем на русских данных для рекомендаций врачей по тексту симптомов	Построена и протестирована система на Word2Vec + Random Forest с многовыводной классификацией	Расширение корпуса данных и новых медицинских профилей
Использование отдельных моделей без сравнения их эффективности	Сравнены TF-IDF, Word2Vec, FastText с классификаторами (SVM, Random Forest, XGBoost, LightGBM)	Внедрение языковых моделей глубокого обучения
Ограниченная обработка свободных текстов	Реализован алгоритм семантического анализа с учётом синонимов и морфологии	Интеграция с электронными медкартами и реализация активного обучения

Приложение 1

Маршрут пациента



Для наглядного представления итогов работы была сформирована таблица 2, которая отражает прогресс исследования:

Таким образом, цель исследования была достигнута: построена и протестирована интеллектуальная система, демонстрирующая работоспособность и перспективность применения в реальных условиях. Полученные результаты свидетельствуют о высокой потенциальной пользе предлагаемого подхода как инструмента оптимизации первичных обращений пациентов в системе здравоохранения. Перспективы развития включают расширение базы симптомов и специалистов, внедрение механизмов активного обучения и интеграцию с данными электронных медицинских карт.

Практическая значимость подтверждается способностью системы снижать нагрузку на врачей первичного звена, сокращать число ошибочных обращений и повышать эффективность здравоохранения в условиях ограниченных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахова И.Ф., Киселева Е.И. Интеллектуальная поддержка принятия врачебных решений [Электронный ресурс] // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2020. — Т. 16. — № 3. — С. 664–672. — Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-podderzhka-prinyatiya-vrachebnyh-resheniy/viewer (дата обращения: 20.04.2025).
2. Ахикян А.И., Данилюк С.С. Алгоритм машинного обучения адаптивный случайный лес и его применение [Электронный ресурс] // Вестник науки. — 2024. — Т. 1. — № 6 (75). — С. 1393–1402. — Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-mashinnogo-obucheniya-adaptivnyy-sluchaynyy-les-i-ego-primenenie/viewer (дата обращения: 20.04.2025).
3. Бритвина П.В. Машинное обучение в медицине: революция диагностики, лечения и персонализации [Электронный ресурс] // Вестник науки. — 2024. — Т. 4. — № 1 (70). — С. 442–444. — Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-obuchenie-v-meditsine-revolyutsiya-diagnostiki-lecheniya-i-personalizatsii/viewer (дата обращения: 20.04.2025).
4. Гришина Л.С. Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений в медицинской практике на основе обработки естественных языков: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 2.3.1 [Электронный ресурс]. — Оренбург, 2024. — 134 с. — Режим доступа: https://www.osu.ru/ds/24_2_352_03/237/237_dis_01.pdf (дата обращения: 20.04.2025).
5. Переломова П.А. Как искусственный интеллект помогает в диагностике и выборе стратегии лечения [Электронный ресурс] // Вестник науки. — 2025. — Т. 1. — № 3 (84). — С. 538–543. — Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/kak-iskusstvennyy-intellekt-pomogaet-v-diagnostike-i-vybore-strategii-lecheniya/viewer (дата обращения: 20.04.2025).
6. Федеральная служба государственной статистики. Здравоохранение в России [Электронный ресурс]. — 2023. — Режим доступа: https://rosstat.gov.ru (дата обращения: 20.04.2025).
7. Информационные технологии, вычислительные системы и искусственный интеллект в медицине: монография / под ред. М.С. Каганова [Электронный ресурс]. — Москва: ДПК Пресс, 2022. — 284 с. — Режим доступа: https://dpk-press.ru/wp-content/uploads/2022/06/Информационные-технологии-вычислительные-системы-и-искусственный-интеллект-в-медицине.pdf (дата обращения: 28.04.2025).
8. Клинические рекомендации Минздрава РФ [Электронный ресурс]. 2023. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru (дата обращения: 02.04.2025).
9. Метрики качества работы моделей машинного обучения [Электронный ресурс] // Webiomed. URL: https://webiomed.ru/blog/metriki-kachestva-raboty-modelei/ (дата обращения: 20.04.2025).
10. Оценка качества в задачах классификации и регрессии [Электронный ресурс] // Wiki НИУ ИТМО. — URL: https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Оценка_качества_в_задачах_классификации_и_регрессии (дата обращения: 20.04.2025).
11. Справочник симптомов «Здоровье@Mail.ru» [Электронный ресурс]. URL: https://health.mail.ru/disease (дата обращения: 02.04.2025).
12. Яндекс. Здоровье: сервис самодиагностики [Электронный ресурс]. URL: https://health.yandex.ru (дата обращения: 02.04.2025).

© Амбросов Игорь Александрович (cvbzwq1@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.04

К ИССЛЕДОВАНИЮ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА С КОМБИНИРОВАННЫМ СУХИМ И ВЯЗКИМ ТРЕНИЕМ АСИМПТОТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

TOWARDS THE STUDY OF THE DYNAMICS OF A QUASI-HARMONIC OSCILLATOR WITH COMBINED DRY AND VISCOUS FRICTION BY AN ASYMPTOTIC METHOD

O. Antonovskaya
A. Besklubnaya

Summary. The paper presents a study of a quasi-harmonic oscillator with dry and viscous friction. A simplified (Coulomb) mathematical model of dry friction is used. The method of approximate point mappings, which is an asymptotic method, is used to study the dynamics of the system. The problem of the existence of a periodic solution for the oscillator is considered as the problem of the existence of a fixed point for an analytically constructed point mapping that approximates with sufficient accuracy the point mapping generated by the trajectories of the system on the cutting surface. The stability of the desired periodic solution is also determined by the stability of the fixed point of the auxiliary point mapping. The question of the applicability of the results of the approximate study is raised.

Keywords: quasi-harmonic oscillator, dry friction, periodic mode, point mapping method, cutting surface, stability.

Антоновская Ольга Георгиевна
кандидат физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
olga.antonovsckaja@yandex.ru
Бесклубная Антонина Вячеславовна
кандидат педагогических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
antbesk@gmail.com

Аннотация. В работе приводится исследование квазигармонического осциллятора с сухим и вязким трением. Используется упрощенная (кулоновская) математическая модель сухого трения. Для исследования динамики системы используется метод приближенных точечных отображений, который является асимптотическим методом. Задача существования у осциллятора периодического решения рассматривается как задача существования неподвижной точки у аналитически построенного точечного отображения, приближающего с достаточной точностью точечное отображение, порождаемое траекториями системы на секущей поверхности. Устойчивость искомого периодического решения также определяется устойчивостью неподвижной точки вспомогательного точечного отображения. Ставится вопрос о применимости результатов приближенного исследования.

Ключевые слова: квазигармонический осциллятор, сухое трение, периодический режим, метод точечных отображений, секущая поверхность, устойчивость.

Введение

Механические колебательные системы с комбинированным сухим и вязким трением имеют важное значение для многих технических приложений динамики [1]. В случае чисто вязкого трения колебательные системы описываются линейными дифференциальными уравнениями и допускают полное аналитическое исследование. Наличие же сухого трения неизбежно приводит к нелинейности физической системы [1-2, 3 С. 175–182].

В настоящей работе рассматривается решение задачи о синхронизации квазигармонического осциллятора с сухим и вязким трением. Для этого используется асимптотический метод, основанный на применении метода точечных отображений [4]. При таком подходе к изучению свойств точечного отображения существо вопроса смещается к оценке достоверности (практической применимости) результатов приближенного исследования.

Рассмотрим уравнение синхронизуемого осциллятора вида

$$\ddot{x} + x = \mu[-\dot{x} - \xi x - (\pi / 4)E_0 \ \mathrm{sgn}[\dot{x}] + A\cos t], \quad (1)$$

где $0<\mu<<1$, $A>0$. Здесь вязкое трение пропорционально производной переменной x, а сила сухого трения описывается кусочно-постоянной моделью (закон Кулона). Если ввести $y = \dot{x}$, из (1) получим систему двух уравнений первого порядка

$$\dot{x} = y,$$

$$\dot{y} = -x + \mu[-y - \xi x - (\pi / 4)E_0 \operatorname{sgn}[y] + A\cos t]. \quad (2)$$

Задача состоит в установлении условий существования у (2) периодического решения с периодом 2π.

В этом случае точечное отображение $\tilde{T}$, приближающее отображение T секущей поверхности t=0 фазового пространства x, y, t в секущую поверхность t=2π, порождаемое траекториями системы (2), с точностью до членов порядка μ^2 [5] имеет вид

$$\tilde{x} = x_0 - \mu\pi\left[-x_0 - \xi y_0 + E_0 x_0 / \sqrt{x_0^2 + y_0^2}\right],$$

$$\tilde{y} = y_0 - \mu\pi\left[-\xi x_0 - y_0 + E_0 y_0 / \sqrt{x_0^2 + y_0^2} + A\right]. \quad (3)$$

Заметим, что при построении приближенного точечного отображения [5] используется метод Ван-дер-Поля [3, С. 653] и метод последовательных приближений [4, С. 213]. То есть метод приближенных точечных отображений является асимптотическим методом.

Условия существования неподвижной точки точечного отображения (3) дают соотношения

$$x^* = \xi r^2 / A, \quad y^* = (r / A)(r - E_0), \quad (4)$$

где $r = \sqrt{(x^*)^2 + (y^*)^2} > 0$ находится из уравнения

$$\xi^2 r^2 + (r - E_0)^2 = A^2. \quad (5)$$

Т.е. факт существования неподвижных точек $\tilde{T}$ определяется фактом существования корней $\rho > 0$ у (5).

Детальный анализ уравнения (5) позволяет получить известную картину резонансных кривых при различных значениях A (рисунок 1). В самом деле, при $0 < A < E_0$ и малых ξ уравнение (5) имеет два корня $r_{1,2} > 0$, сливающихся при $|\xi| = A / \sqrt{E_0^2 - A^2}$.

При $A \geq E_0 > 0$ положительный корень только один, каково бы ни было ξ. Причем $r \to +0$ при $|\xi| \to +\infty$. Т.е. при $A < E_0$ резонансная кривая является замкнутой, при $A \geq E_0$ — разомкнутой. Кроме того, следует отметить, что резонансная кривая имеет горизонтальную касательную при ξ = 0, ρ = 0, а вертикальную — в точках кривой K

$$r = E_0 / (1 + \xi^2), \quad (6)$$

а пределами изменения $r(\xi)$ являются

$$0 < A < E_0, \ 0 < r(\xi) \leq E_0 + A, \ A \geq E_0 > 0, \quad (7)$$

причем в случае $0 < A < E_0$ граничные значения соответствуют ξ = 0, а в случае $A \geq E_0 > 0$ $E_0 + A = r(\xi = 0)$, $r(\xi \to \pm\infty) = 0$.

Устойчивость неподвижных точек точечного отображения $\tilde{T}$ в случае их существования определяется корнями характеристического полинома

$$P(z) = [z - (1 - \mu\pi + \mu\pi E_0 / (2r))]^2 + (\mu\pi)^2(\xi^2 - E_0^2 / (4r^2)). \quad (8)$$

Корни полинома $P(z)$ будут действительными при $\xi^2 \leq E_0^2 / (4r^2)$ и комплексно-сопряженными при $\xi^2 > E_0^2 / (4r^2)$, т.е. граница N_ω, соответствующая уходу пары корней характеристического полинома с действи-

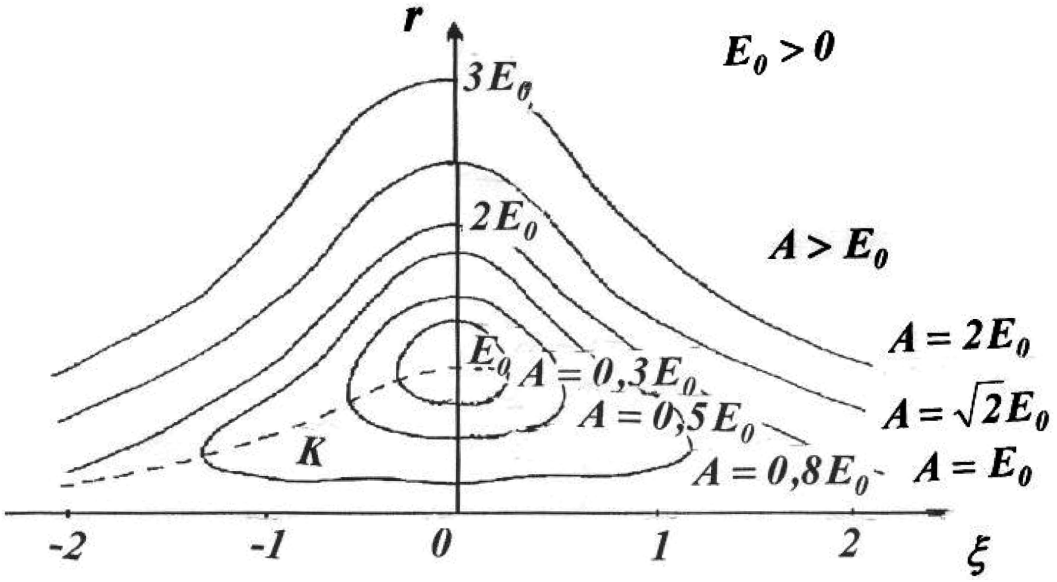


Рис. 1. Примерный вид резонансных кривых

тельной оси в этом случае будет иметь вид двух гипербол

$$\xi = \pm E_0 \,/\, (2r). \qquad (9)$$

Кроме того является очевидным тот факт, что при $0<\mu\pi<1$ действительная часть корней $P(z)$ всегда является положительной, а значит граница N_{-} ($z=-1$) при $0<\mu\pi<1$ не существует.

Уравнения границ N_{+}, N_{φ} области устойчивости на плоскости будут иметь следующий вид.

Для N_{+} ($z=1$) получаем уравнение (6), т.е. граница N_{+} совпадает с кривой K.

Уравнение границы N_{φ} ухода через окружность единичного радиуса пары комплексно-сопряженных корней в предположении, что $\mu \neq 0$, есть

$$r = (1-\mu\pi)E_0 \,/\, (2-\mu\pi(1+\xi^2)) \quad (r < E_0 \,/\, (2\xi)), \qquad (10)$$

причем поскольку $r>0$, следует рассматривать только часть кривой (10), расположенную между ее асимптотами $\xi = \pm\sqrt{2 \,/\, \mu\pi - 1}$.

Примерный вид кривых N_{ω}, N_{+}, N_{φ} на плоскости r, ξ представлен на рисунке 2. Область устойчивости есть область $D=0$, поскольку это случай отсутствия у характеристического полинома корней по модулю больших единицы. Для области $D=1$ такой корень один. В области $D=2$ оба корня характеристического уравнения имеют модуль больший единицы. То есть при попадании в области $D=1$ и $D=2$ устойчивость неподвижной точки теряется. В пределе при $\mu \to +0$ область устойчивости расширяется, при этом N_{φ} стремится к прямой $r = E_0 \,/\, 2$.

Факт существования неподвижных точек точечного отображения $\tilde{T}$ с некоторым характером устойчивости при $A = \text{const}$ и различных ξ может быть установлен наложением картины поведения границ областей существования различных типов неподвижных точек на плоскости ξ, ρ при заданном μ на плоскость с резонансной кривой при заданном A (рисунок 3).

Следует отметить, что интерес представляет также вопрос о «вырожденности-невырожденности» рассматриваемой модели [6], сводящийся к вопросу об устойчивости-неустойчивости бесконечности.

Рассмотрим простейшую функцию Ляпунова

$$V(x_0, y_0) = x_0^2 + y_0^2 = \rho_0. \qquad (11)$$

Ее первая разность в силу формул (3) примет вид

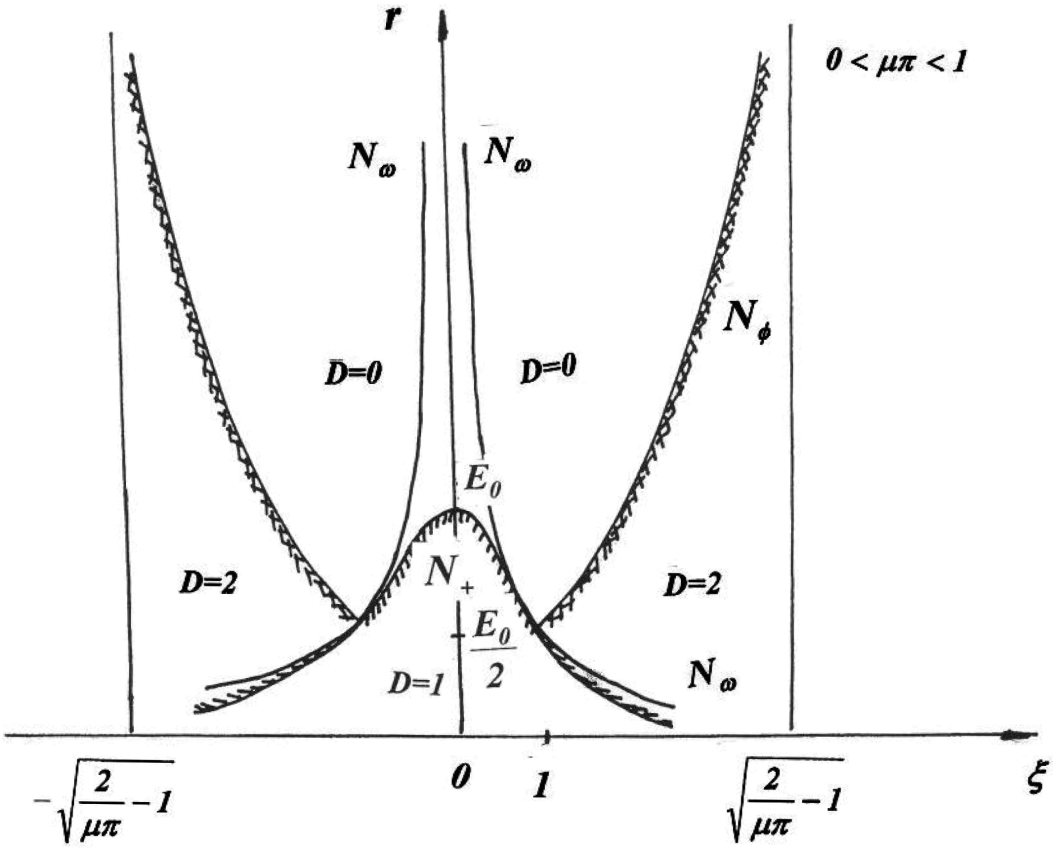


Рис. 2. Границы D-разбиения при малых μ

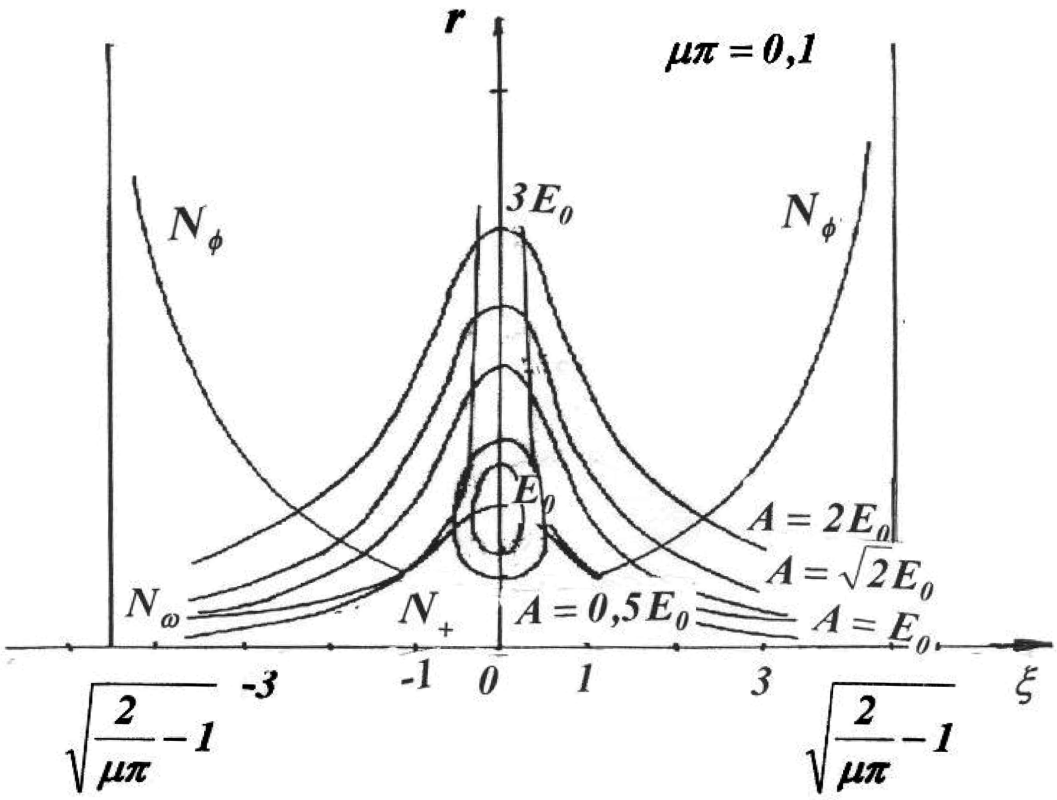


Рис. 3. Наложение картины поведения границ *D*-разбиения на плоскость с резонансными кривыми

$$\Delta V(x_0,y_0) = V(\tilde{x},\tilde{y}) - V(x_0,y_0) =$$
$$= \mu\pi[(-2 + \mu\pi(1+\xi^2))(x_0^2 + y_0^2) +$$
$$+E_0\sqrt{x_0^2 + y_0^2} + Ay_0 +$$
$$+ \mu\pi(E_0^2 - 2E_0 + A^2 + 2A(-\xi x_0 - y_0 +$$
$$+E_0 y_0 / \sqrt{x_0^2 + y_0^2}))] = \mu\pi[-2 + \mu\pi(1+\xi^2))\rho_0 +$$
$$+E_0\sqrt{\rho_0} + Ay_0 + \mu\pi[E_0^2 - 2E_0 + A^2 + 2A(-\xi x_0 -$$
$$-y_0 + E_0 y_0 / \sqrt{\rho_0}))]. \quad (12)$$

При любом конечном, хотя и малом значении μ определяющим членом $\Delta V(x_0,y_0)$ при $\rho_0 \to +\infty$ является $(-2 + \mu\pi(1+\xi^2))\rho_0$, поскольку все прочие члены имеют порядок не выше, чем $\sqrt{\rho_0}$. Таким образом, поведение траекторий отображения $\tilde{T}$ в удаленных частях плоскости будет зависеть от знака коэффициента при ρ_0. Так, при $-2 + \mu\pi(1+\xi^2) < 0$ ($|\xi| < \sqrt{2/\mu\pi - 1}$, $\mu\pi<2$) функция $\Delta V(x_0,y_0)$ будет удовлетворять условию

$$\Delta V(x_0,y_0) \le \mu\pi[(-2 + \mu\pi(1+\xi^2))\rho_0 +$$
$$+2(E_0 + A + \mu\pi(|\xi| + 1))\sqrt{\rho_0} +$$
$$+\mu\pi[(E_0 + A)^2 - 2E_0]] < 0, \quad (13)$$

как только

$$\sqrt{\rho_0} > [E_0 + A + \mu\pi A(|\xi| + 1) +$$
$$+((E_0 + A + \mu\pi A(|\xi| + 1))^2 + \mu\pi((E_0 + A)^2 -$$
$$-2E_0)(2 - \mu\pi(1+\xi^2)))^{1/2}][2 - \mu\pi(1+\xi^2)]^{-1}, \quad (14)$$

если подкоренное выражение неотрицательно (скажем, при $(E_0 + A)^2 \ge 2E_0$), либо неравенство (13) имеет место всегда, если подкоренное выражение в (14) отрицательно. При $-2 + \mu\pi(1+\xi^2) > 0$ ($\xi^2 > 2 / \mu\pi - 1$) имеем

$$\Delta V(x_0,y_0) > \mu\pi[(-2 + \mu\pi(1+\xi^2))\rho_0 +$$
$$+2(E_0 - A - A\mu\pi(|\xi| + 1))\sqrt{\rho_0} +$$
$$+\mu\pi[(E_0 - A)^2 - 2E_0] > 0, \quad (15)$$

как только $\sqrt{\rho_0} > \max\{0, r_1, r_2\}$, где

$$r_{1,2} = [A - E_0 + A\mu\pi(|\xi| + 1) \pm ((E_0 - A + A\mu\pi(1+|\xi|))^2 +$$
$$+\mu\pi(2 - \mu\pi(1+\xi^2))((E_0 - A)^2 -$$
$$2E_0))^{1/2}][-2 + \mu\pi(1+\xi^2)]^{-1}, \quad 16)$$

в случае положительности подкоренного выражения в (6). Если подкоренное выражение в (16) отрицательно, то (15) имеет место при всех $\rho_0 > 0$.

$$\text{Если } -2 + \mu\pi(1+\xi^2) = 0\ (\xi = \pm\sqrt{2 / \mu\pi - 1}, \mu\pi<2),$$
$$\Delta V(x_0,y_0) = \mu\pi[E_0\rho_0 + Ay_0 + \mu\pi(E_0^2 - 2E_0 + A^2 +$$
$$+2A(-\xi x_0 - y_0 + E_0 y_0 / \sqrt{\rho_0}] \quad (17)$$

и вывод о знаке $\Delta V(x_0,y_0)$ при $\rho_0 \to +\infty$ сделать нельзя.

Из приведенных выше рассуждений следует, что при $\xi < \sqrt{2 / (\mu\pi) - 1}$ модель является невырожденной

(т.е. бесконечность в приближенной модели, как и в реальной системе, неустойчива). Таким образом, для системы (2) в пространстве параметров для любого конечного значения μ существует, хотя и ограниченная по ξ, область невырожденности математической модели (при $\mu \to +0$ область невырожденности приближенной модели все более расширяется и стремится к $-\infty < \xi < +\infty$, что соответствует результатам, получаемым методом усреднения [6]). Факт существования области невырожденности рассматриваемой приближенной модели связан с тем, что для случая нелинейности, обладающей насыщением, при $0 < \mu\pi < 1$ не существует границы $N_{_}$ смены устойчивости неподвижных точек $\tilde{T}$ в пространстве параметров. А значит, появление сложных движений возможно только при переходе через границу N_{φ}. Тот факт, что граница N_{φ} располагается в ограниченной по ξ части плоскости параметров, определяет ограниченность по ξ области невырожденности рассматриваемой приближенной модели. При значениях $|\xi| < \sqrt{2/(\mu\pi) - 1}$ приближенная модель является вырожденной для любого конечного, хотя и малого μ, т.к. при $|\xi| < \sqrt{2/(\mu\pi) - 1}$ ограниченного притягивающего множества в фазовом пространстве приближенной модели не обнаружено.

Заключение

В заключение отметим, что т.к. метод приближенных точечных отображений является асимптотическим методом, при выработке рекомендаций по применению полученных результатов необходимо определять границы их применимости. Однако, поскольку в [7] дано обоснование метода приближенных точечных отображений как асимптотического метода, всегда возможно получить оценки величин малого параметра, при которых возможна локальная применимость результатов приближенного исследования [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутиков Е. И. Осциллятор с сухим трением. // Компьютерные инструменты в образовании. — 2015. — № 1. — С.28–47.
2. Фокин А. В. Исследование возможности существования несимметричных установившихся режимов вынужденных нелинейных колебаний осциллятора с сухим трением. // Ученые записки физического факультета. — 2014. — № 5. — 1–6.
3. Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний. — М.: Физматгиз, 1959. — 915 с.
4. Неймарк Ю. И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. — М.: Наука, 1972. — 472 с.
5. Антоновская О. Г. О влиянии насыщения нелинейности на результаты исследования принудительной синхронизации методом приближенных точечных отображений. // Математическое моделирование и оптимальное управление. Вестник ННГУ. — Нижний Новгород: ННГУ, 1999. — № 2(21). — С.198–208.
6. Андронов А.А., Витт А.А. К теории захватывания Ван-дер-Поля //Arch. f. Elektrotech. 247 99 (1930), Собрание трудов А.А.Андронова. Изд. АН СССР, 1956. — С.51–64.
7. Антоновская О. Г. Метод последовательных приближений в оценке близости приближенного и точного точечных отображений при учете неизохронности процессов в динамике систем ИФАПЧ. // Вестник ННГУ, Нижний Новгород. — 2013. — № 5(1). — С. 210–212.
8. Антоновская О.Г. О достоверности результатов исследования принудительной синхронизации методом приближенных точечных отображений // Математическое моделирование и оптимальное управление: Вестник ННГУ. — Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2001. — Вып.1(23). — С.243–254.

© Антоновская Ольга Георгиевна (olga.antonovsckaja@yandex.ru); Бесклубная Антонина Вячеславовна (antbesk@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.05

УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ДАННЫЕ О ПРОДАЖАХ ВИДЕОИГР[1]

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED INVENTORY MANAGEMENT FOR TECHNOLOGY COMPANIES USING VIDEO GAME SALES DATA

Arnawtee Mohammed Mahde Mahmood
Zaiter Murooj Fadhil Zaiter

Summary. Effective inventory management within organizational systems requires reliable support for decision-making processes, especially under conditions of unstable demand and rapidly changing market environments. This paper proposes a methodological framework for a decision support system (DSS) for inventory management based on the integration of artificial intelligence models. The study focuses on the application of modern machine learning and deep learning methods for demand forecasting and inventory optimization in technology companies. Particular attention is paid to the formalization of feature selection procedures, development of predictive models, and their integration into a real-time operational DSS. The results of empirical tests using LightGBM, CatBoost, and XGBoost models demonstrate high accuracy (R^2 up to 0.98) and computational efficiency in solving the problem of intelligent inventory management.

Keywords: decision support system, inventory management, organizational systems, machine learning, demand forecasting, artificial intelligence.

Арновати Мохамед Мехди Махмуд
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
humodez5@gmail.com
Заитер Муродж Фадхиль Заитер
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
muroojzaiter@gmail.com

Аннотация. Эффективное управление запасами в рамках организационных систем требует надежной поддержки процессов принятия решений, особенно в условиях нестабильного спроса и быстро меняющейся рыночной конъюнктуры. В данной работе предлагается методическое обеспечение системы поддержки принятия решений (СППР) по управлению запасами, основанное на интеграции моделей искусственного интеллекта. Исследование сосредоточено на применении современных методов машинного обучения и глубокого обучения для прогнозирования спроса и оптимизации запасов в технологических компаниях. Особое внимание уделено формализации процедур выбора признаков, построения прогностических моделей и их включения в СППР, функционирующую в режиме реального времени. Представлены результаты эмпирических тестов моделей LightGBM, CatBoost и XGBoost, показавших высокую точность (R^2 до 0,98) и вычислительную эффективность при решении задачи интеллектуального управления запасами.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, управление запасами, организационные системы, машинное обучение, прогнозирование спроса, искусственный интеллект.

Введение

В современных организационных системах, функционирующих в условиях цифровизации, управление запасами требует внедрения интеллектуальных решений, способных адаптироваться к динамике спроса и сложности логистических процессов. Особенно это актуально для технологических компаний, работающих в быстро меняющихся отраслях, таких как индустрия видеоигр. Неопределённость потребительского поведения, высокая вариативность ассортимента и частые обновления продуктов требуют применения систем поддержки принятия решений (СППР), встраиваемых в архитектуру управления предприятием [1–3].

Традиционные подходы к управлению запасами зачастую не учитывают многомерную природу входных данных и не способны обеспечивать высокоточное прогнозирование в условиях ограниченных ресурсов. Поэтому необходима разработка методического обеспечения, позволяющего формализовать задачи прогнозирования, выбора признаков и генерации управленческих решений на базе ИИ.

Настоящее исследование направлено на создание и внедрение СППР, использующей модели машинного обучения (ML) и глубокого обучения (DL), ориентированной на повышение эффективности управления запасами в организационных системах технологического профиля [5, 6]. Конкретные цели включают в себя:

[1] Исследование финансируется Уральским федеральным университетом IRQ10437/22.

A. Формализация архитектуры СППР, ориентированной на управление запасами в условиях организационной неопределенности.
B. Разработка и валидация прогностических моделей спроса с использованием ML и DL для обеспечения точности и устойчивости решений.
C. Реализация методов интеллектуального выбора признаков, учитывающих специфику отрасли и динамику продаж.
D. Интеграция моделей прогнозирования в модуль СППР, функционирующий в режиме реального времени с возможностью адаптивного реагирования.
E. Сравнительный анализ традиционных и интеллектуальных подходов в управлении запасами на основе эмпирических данных.

Обзор литературы

Методы глубокого обучения быстро развиваются для повышения производительности. Литература включает в себя адекватные обзорные статьи по прогрессирующим алгоритмам в конкретных областях применения, например, прогнозирование возобновляемых источников энергии, анализ сердечно-сосудистых изображений, визуализация сверхвысокого разрешения, радиология, классификация данных 3D-зондирования, классификация данных 3D-зондирования, мультимедийная аналитика, классификация тональности, обнаружение текста, транспортные системы, распознавание активности в радаре, гиперспектральный, медицинский ультразвуковой анализ, цитометрия изображений [9–11]. После внедрения ранних моделей глубокого обучения [12] произошла огромная эволюция в системном моделировании и интеллекте, которые сообщают, что модели глубокого обучения и гибридные модели машинного обучения часто превосходят обычные модели машинного обучения. На рис. 1 показан быстрый рост применения различных методов глубокого обучения за последние пять лет [13–15].

A. Методология

A. Чтобы оценить эффективность машинного обучения в управлении запасами, мы провели эмпирический анализ с использованием наборов данных о продажах и спросе от глобальных компаний, занимающихся видеоиграми. Обоснованием для выбора набора данных видеоигр в качестве прикладной выборки для данного исследования является богатое разнообразие категорий продуктов, частые циклы выпуска и сильные сезонные модели продаж, что делает его идеальным для понимания сложных колебаний рынка и разработки прогнозных моделей, отвечающих требованиям текущего исследования. Использован подход на основе машинного обучения (machine learning — ML) и глубокого обучения (deep learning — DL).

Цель этого подхода заключается в эффективном прогнозировании состояния запасов, сосредоточившись на трех основных сценариях:

- Риск дефицита: Определение запасов, которые, скорее всего, скоро закончатся.
- Избыточные запасы: Обнаружение слишком больших запасов, которые приводят к ненужным расходам.
- Нормальное состояние: Поддержание оптимального баланса между спросом и предложением.

В то же время задача состоит в том, чтобы спрогнозировать оптимальное количество, которое будет выделено для каждого продукта или точки хранения. При этом

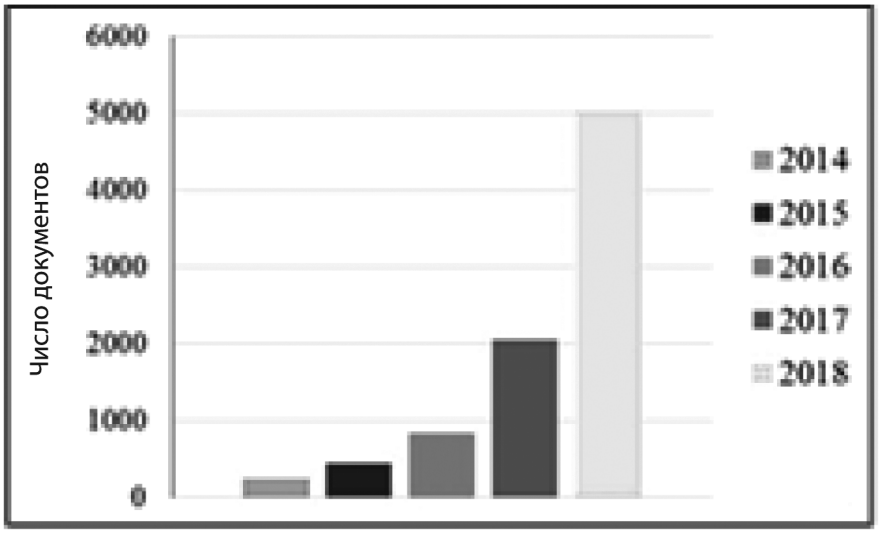


Рис. 1. Быстрый рост использования моделей машинного обучения в различных прикладных областях (источник: Web of Science)

задача рассматривается как задача регрессии, а элементы классификации включаются для категоризации состояний инвентаризации.

Создание эффективной системы поддержки принятия решений (СППР) в области управления запасами требует глубокой проработки как структурных, так и функциональных аспектов. Основное внимание в данном методическом подходе уделяется архитектуре СППР как многослойной системе, интегрирующей источники данных, алгоритмы анализа, модели прогнозирования и механизмы выработки решений. Такая система должна быть способна работать с разнородными данными, учитывать отраслевую специфику и быть встроенной в информационную инфраструктуру организации.

Методологическая основа проектирования СППР предполагает последовательную реализацию этапов: от сбора и обработки информации до генерации рекомендаций по действиям с запасами. В качестве ключевых ИИ-компонентов применяются модели машинного и глубокого обучения, включая CatBoost, LightGBM и XGBoost. Они обеспечивают точное прогнозирование спроса и классификацию рисковых состояний запасов (дефицит, избыток, норма).

Особое внимание уделяется процедурам отбора признаков, где используются интерпретируемые методы, такие как SHAP-значения. Это позволяет повысить прозрачность модели и доверие со стороны пользователей. СППР функционирует в режиме реального времени, предполагая непрерывное обновление данных, адаптивное обучение моделей и обратную связь от пользователей для уточнения результатов.

Формализация требований к входным и выходным данным позволяет обеспечить воспроизводимость процессов и унификацию подходов при интеграции СППР в существующие организационные системы. Такая система не только повышает точность и своевременность решений, но и способствует устойчивости всей цепочки поставок за счёт снижения потерь, связанных с ошибками в управлении запасами.

Для оптимизации архитектуры DL и повышения общей производительности мы предлагаем следующие шаги:

Б. *Выбор целевой архитектуры*

Архитектура будет оптимизирована за счет сохранения только релевантных для задачи уровней, например:

- Добавление или удаление слоев, чтобы адаптировать глубину модели к размеру и сложности данных.
- Интегрирование слоев Dropout, чтобы предотвратить переобучение.
- Настройка скрытых единиц измерения, чтобы сбалансировать производительность и время вычислений.

В. *Кастомизация и оптимизация*

- Применение методов оптимизации гиперпараметров, таких как поиск по сетке или байесовская оптимизация, для настройки ключевых параметров (скорость обучения, количество слоев, функции активации и т. д.).
- Использование алгоритмов регуляризации (L2, Dropout) для улучшения генерализации.

Г. *Обогащение данных*

- Включение соответствующих функций, таких как сезонные данные, рыночные тенденции или исключительные события.
- Нормализация и масштабирование данных для обеспечения быстрой и стабильной сходимости модели.

Д. *Мультиметрическая оценка*

- Расчет метрик регрессии для конкретных задач, такие как MAE (mean absolute error — средняя абсолютная ошибка) и RMSE (root mean square error — среднеквадратичная ошибка).
- Оценка способности модели правильно классифицировать состояние запасов (дефицит, избыток, нормальное) с помощью таких метрик, как точность и полнота.

Е. *Преимущества такого подхода*

- **Оптимизация модели: Специализированная архитектура глубокого обучения снижает вычислительные затраты при одновременном повышении производительности.**
- **Надежные прогнозы: комбинация ML и DL обеспечивает высокую точность прогнозирования состояния и количества запасов.**
- **Масштабируемость: модели могут быть интегрированы в системы управления в режиме реального времени для динамической корректировки запасов.**
- **Снижение затрат: оптимизированное управление запасами снижает затраты, связанные с избыточными запасами и дефицитом**

В исследовании используются два всеобъемлющих набора данных, содержащих данные о продажах видеоигр, которые предлагают богатую и разнообразную информацию о различных аспектах индустрии розничной торговли видеоиграми. Эти наборы данных обеспечива-

ют основу для анализа рыночных тенденций, предпочтений потребителей и стратегий оптимизации запасов.

Ж. *Набор данных о продажах видеоигр*

- Включает данные о продажах более чем 16 500 видеоигр.
- Ключевые особенности: название игры, платформа, год выпуска, жанр, издатель и региональные продажи (Северная Америка, Европа, Япония и другие).
- Подходит для анализа исторических тенденций и базового моделирования.

3. *Набор данных о продажах видеоигр за 2024 год*

- Расширяет первый набор данных подробной информацией о 64000 видеоиграх.
- Дополнительные функции: рейтинг игры, разработчик, оценка критиков, оценка пользователей и глобальные продажи.
- Повышенная детализация, позволяющая глубже понять факторы, влияющие на спрос на видеоигры.

Б. Результаты и обсуждение

Для прогнозирования глобальных продаж на основе имеющихся признаков было использовано несколько регрессионных моделей. Используются следующие модели: XGBRegressor (XGBoost), линейная регрессия, ридж-регрессия, лассо-регрессия, регрессор дерева решений, регрессор случайного леса, регрессор градиентного бустинга, регрессор дополнительных деревьев, k-ближайшие соседи, Light GBM, CatBoost.

CatBoostRegressor с его оптимальными гиперпараметрами является мощным инструментом для выбора признаков в сочетании с методом Value Shape, помогая определить и сохранить наиболее релевантные признаки, которые повышают точность модели, показанную в таблице 1.

Таблица 1.

Модель CatBoostRegressor

Модель	Лучшие гиперпараметры
CatBoost	{'catboostregressor__depth': 6, 'catboostregressor__iterations': 300, 'catboostregressor__l2_leaf_reg': 3, 'catboostregressor__learning_rate': 0.1}

На рис. 2 видно, что после выполнения выбора признаков с помощью значений Шепли (SHapley Additive exPlanations value — SHAP Value) было определено, что только Publisher, Platform и Genre были выбраны в качестве наиболее релевантных функций для модели. Другие функции, включая название и год, были исключены, так как они не вносили существенного вклада в производительность модели. Этот процесс помог сузить набор признаков до наиболее важных переменных, что в конечном итоге повысило эффективность модели и точность прогнозирования.

Сводка результатов работы после выбора функции показана в таблице 2.

Результаты, показанные на рис. 3, указывают на то, что модель хорошо оптимизирована, особенно в процессе выбора функций, в котором выделены наиболее релевантные функции, такие как издатель, платформа и жанр. За счет сокращения набора функций и сосредоточения внимания на наиболее важных переменных производительность модели улучшилась, достигнув высокого показателя $R^2 = 0{,}98$, очень низких среднеквадратичных ошибок (mean square error — MSE) и RMSE, а также небольшого MAE. Это может быть значительным

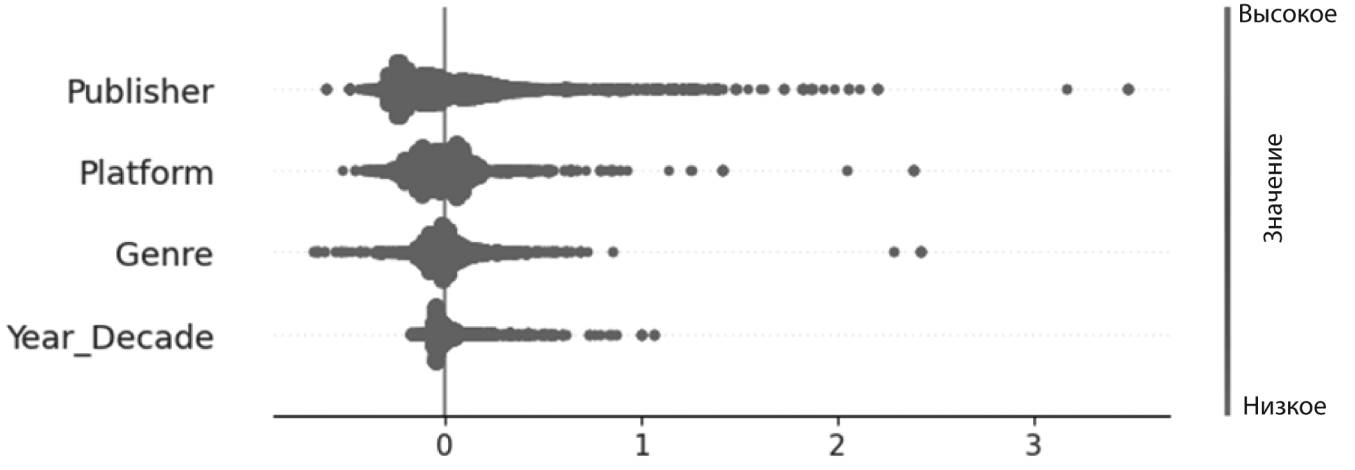


Рис. 2. Актуальные особенности для модели

преимуществом на этапах обучения и тестирования, так как меньшее количество функций снижает вычислительную сложность при сохранении или повышении прогностической мощности.

Таблица 2.

Результаты после выполнения

Метрика	Ценность
MSE	0.008972
Нормализованный MSE	0.9804
R^2	0.98
MAE	0.03
RMSE	0.03

Следующие результаты суммируют прирост, стандартное отклонение прироста и подсчет для различных платформ, жанров и издателей. Эти результаты можно интерпретировать следующим образом.

Интерпретация для платформы показана на рис. 4:

- Такие платформы, как GB, NES и 2600, имеют самый высокий положительный прирост, что указывает на то, что игры с этих платформ связаны с более высоким прогнозным выигрышем.
- С другой стороны ПК, NS, и PSP демонстрируют наиболее отрицательный прирост, что означает, что эти платформы могут иметь более низкую прогностическую производительность или меньшую корреляцию с целевой переменной.

Интерпретация для жанра игр (рис. 5):

- Жанры платформер и шутеры демонстрируют положительный рост, что указывает на то, что они связаны с более качественными прогнозами моделей.
- Такие жанры, как визуальный роман, головоломка и стратегия, имеют отрицательный или низкий прирост, что может свидетельствовать о более слабых или отрицательных связях с целевой переменной в контексте продаж или производительности видеоигр.

Интерпретация для разработчика игр (рис. 6):

- Nintendo имеет самый высокий прирост в 1,122, показывая, что ее игры оказывают наиболее значительное положительное влияние на предиктивную модель.
- EA Sports и Disney Interactive Studios следуют за ними с сильным положительным ростом, что указывает на то, что эти издатели связаны с более высокими показателями производительности игр или прогнозами продаж.
- С другой стороны, Sega, Midway Games и другие более мелкие издатели демонстрируют низкий или отрицательный прирост, что указывает на их более слабую корреляцию с целевой переменной, возможно, из-за меньшего влияния на рынок.

B. Заключение

Проведенное исследование подтвердило эффективность использования искусственного интеллекта в построении интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению запасами в организационных системах. Предложенный методический под-

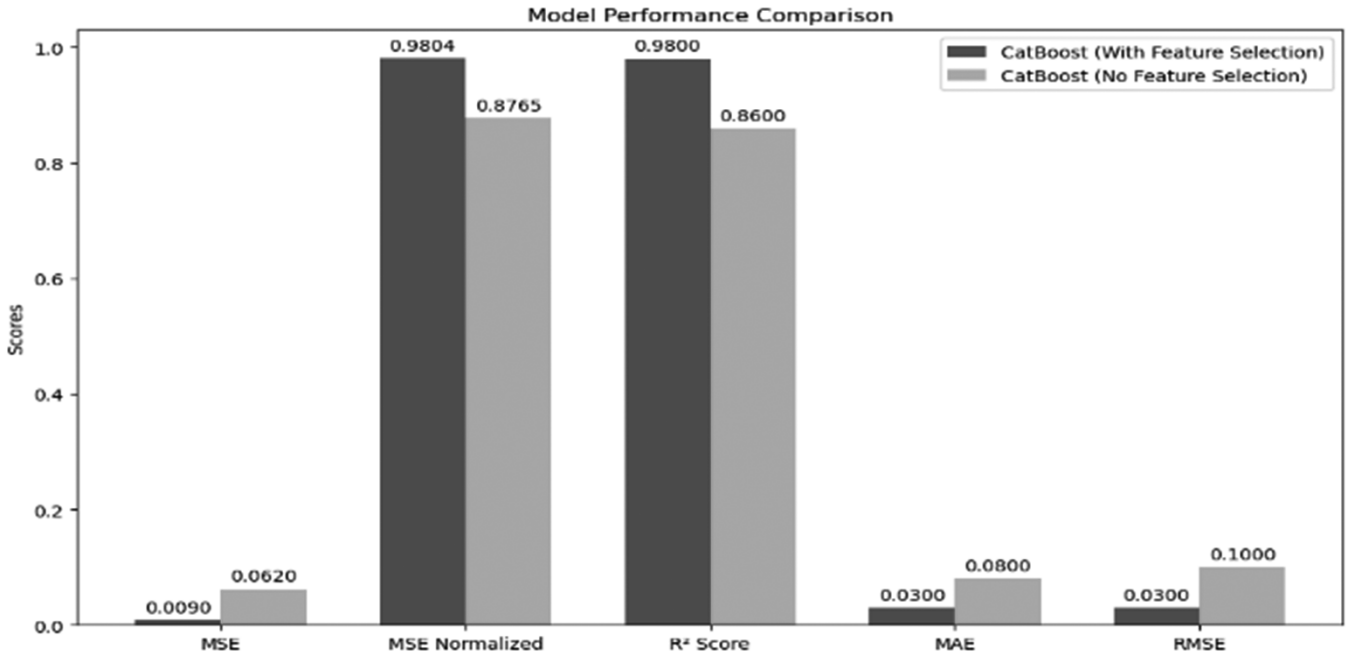


Рис. 3. Сравнение производительности модели

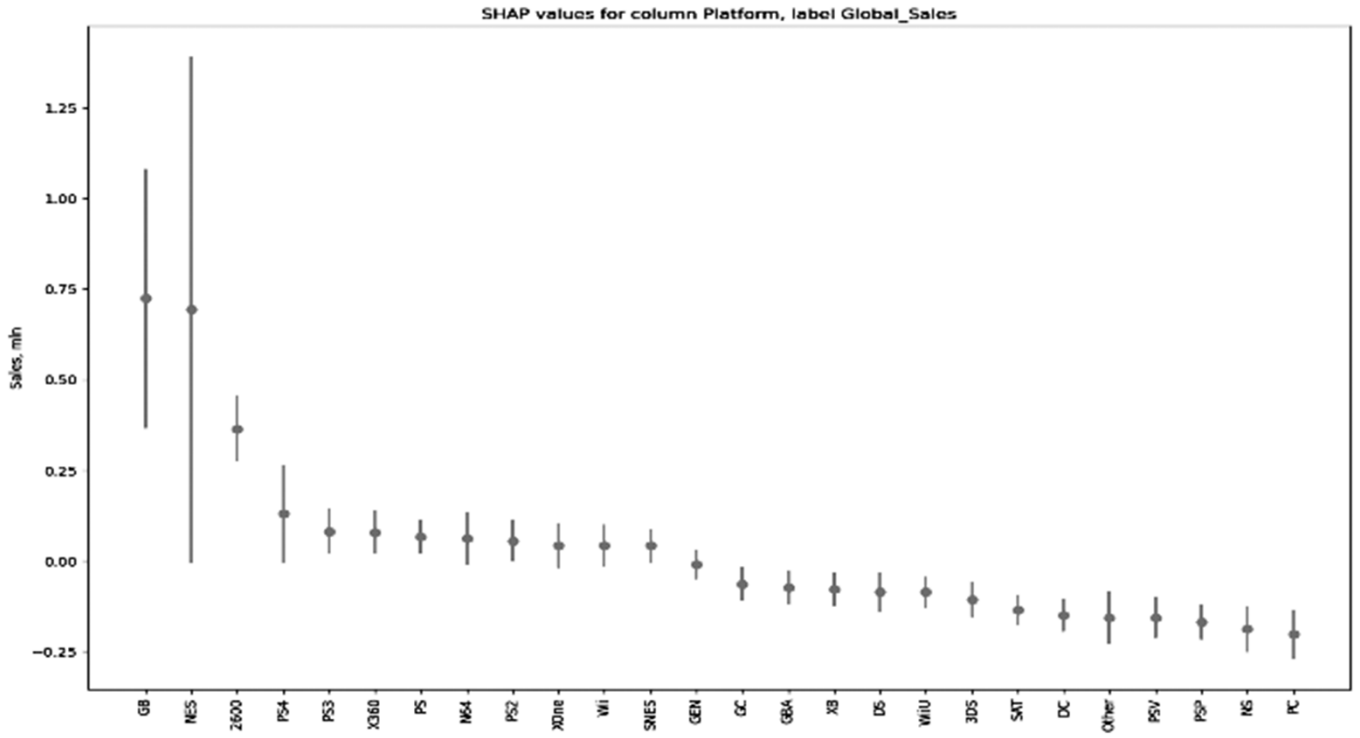


Рис. 4. Значения SHAP values глобальных продаж для платформы

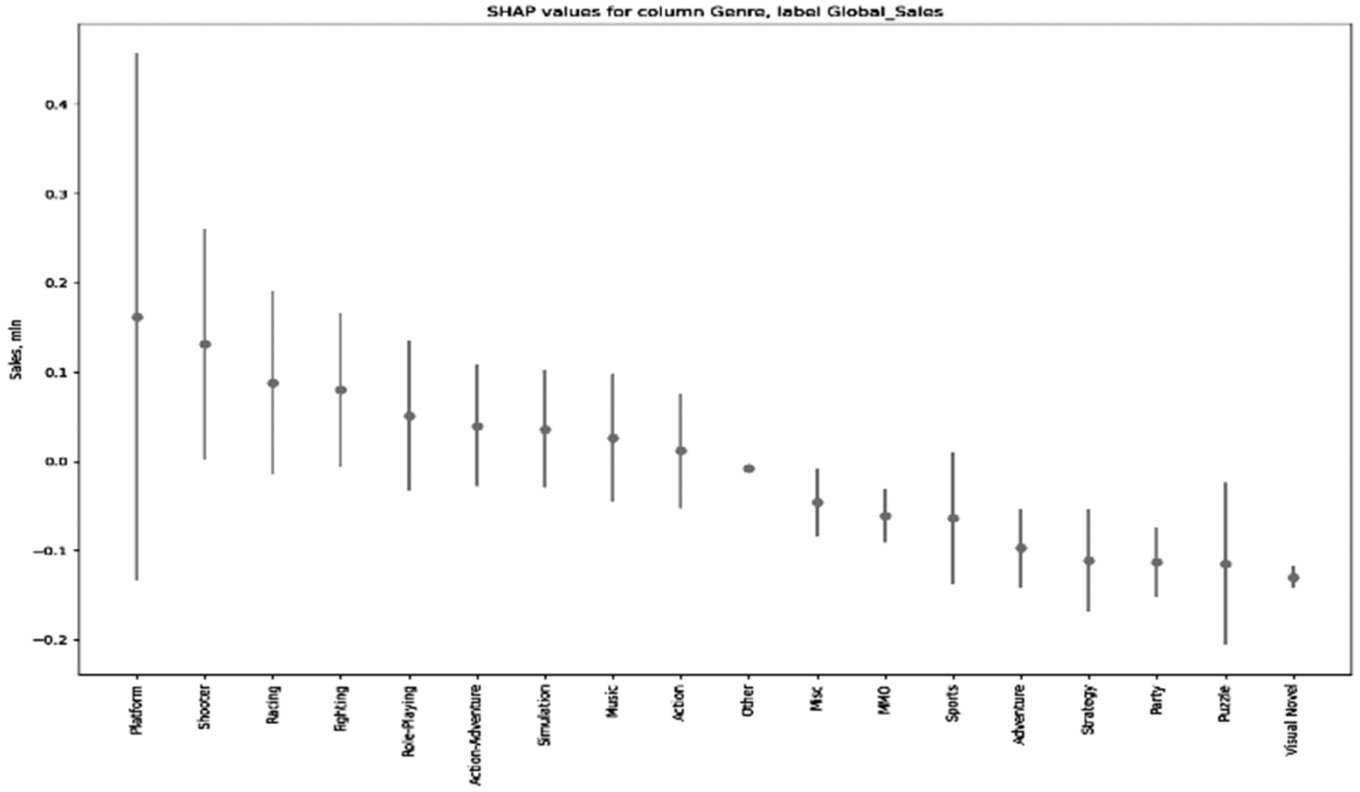


Рис. 5. Значения SHAP values глобальных продаж для жанра игры

ход включает формализацию архитектуры СППР, обоснованный выбор прогностических моделей и процедур интеллектуального анализа данных, что позволило существенно повысить точность и адаптивность управленческих решений.

Реализация моделей CatBoost, LightGBM и XGBoost в рамках СППР продемонстрировала высокую прогностическую способность и устойчивость к шуму, а также возможность оперативной адаптации к изменяющимся условиям рынка. Интеграция таких решений в практику

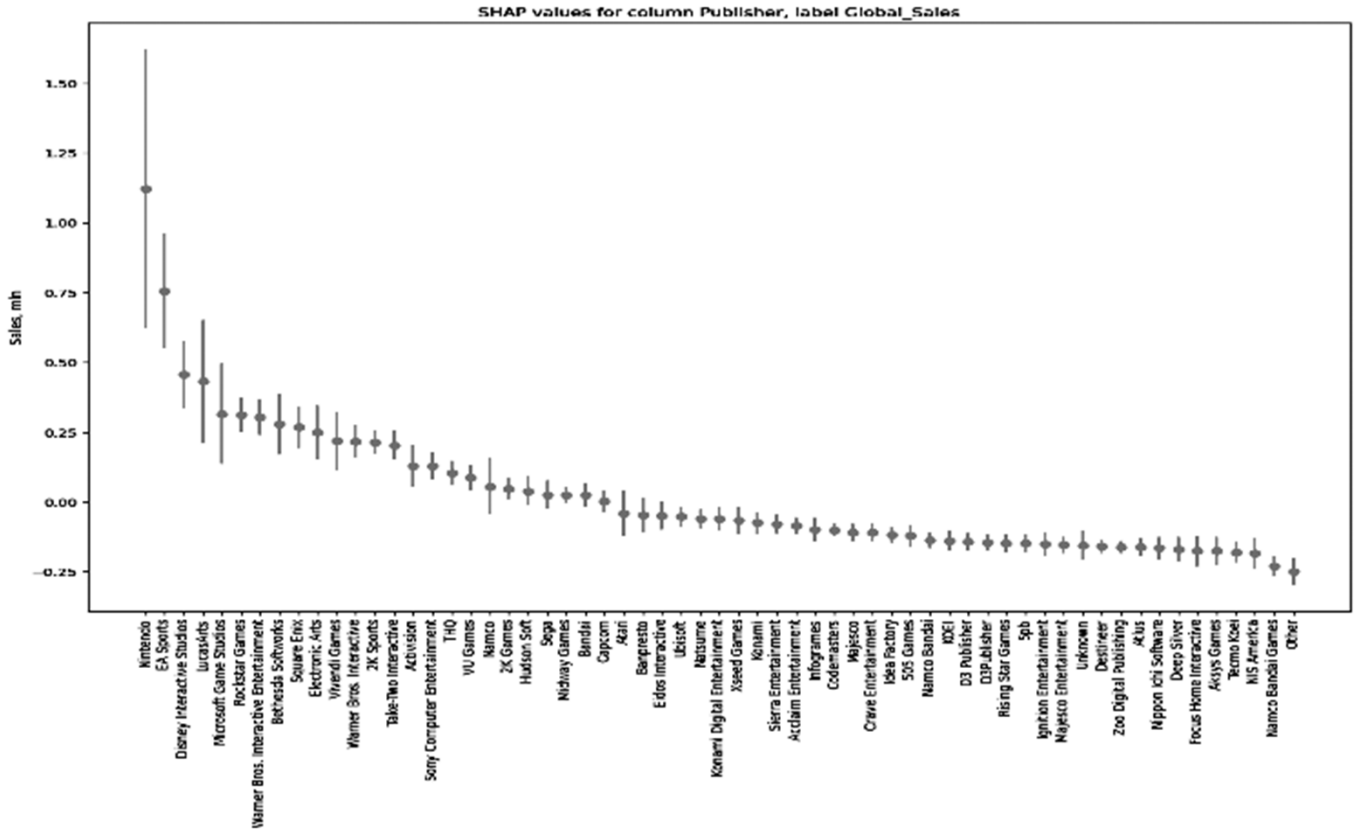


Рис. 6. Значения SHAP values глобальных продаж для разработчика

управления технологическими компаниями открывает новые перспективы в обеспечении баланса между избыточными и дефицитными запасами.

Результаты работы могут быть использованы в качестве основы для дальнейших исследований в области интеллектуального управления логистическими процессами, а также при разработке и внедрении СППР в других отраслях экономики, где актуальны задачи адаптивного планирования и оптимизации ресурсов.

Авторы хотели бы поблагодарить и высоко оценить Уральский федеральный университет за поддержку, предусмотренную в финансировании завершения данного исследования, а также за предоставление всех требований и ресурсов, которые наилучшим образом способствовали завершению текущих исследовательских работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smith J., Johnson A. Optimal management of technology company stocks using artificial intelligence model // Journal of Artificial Intelligence in Finance, 2020. V.10(2). pp. 45–62.
2. Brown R., Davis M. A comparative study of artificial intelligence-based stock management models in technology companies // International Journal of Technology Management. 2019. V.36(4). pp. 123–140.
3. Chen L., Wang Y. Optimization of stock management in technology companies using artificial intelligence algorithms // Journal of Intelligent Systems. 2018. V.25(3). pp. 78–95.
4. Lee S., Kim H. An intelligent stock management model for technology companies based on artificial neural networks // Expert Systems with Applications. 2017. V.45. pp. 256–267.
5. Zhang Q., Li W. A hybrid artificial intelligence approach for optimal stock management in technology companies // International Journal of Production Economics. 2016. V.178. pp. 123–135.
6. Garcia J., Santos M. Artificial intelligence-based inventory management systems for technology companies: A comprehensive review // Journal of Supply Chain Management. 2021. V.45(3). pp. 123–140.
7. Liu Y., Wang X. Optimizing stock management in technology companies using AI-based predictive modeling // International Journal of Production Economics. 2020. V.58(4). pp. 567–584.
8. Khan H., Patel R. A comparative analysis of AI algorithms for stock management in technology companies // Expert Systems with Applications. 2019. V.36(2). pp. 345–362.

9. Kim M., Lee H. An intelligent decision support system for stock management in technology companies using AI techniques // Journal of Intelligent Manufacturing. 2018. V.25(4). pp. 789–806.
10. Sharma Y., Ali Z. Optimal stock management in technology companies using AI-based reinforcement learning // International Journal of Operations Research. 2017. V.36(3). pp. 1023–1042.
11. Patel A., Kumar S. A general overview of artificial intelligence (AI) stocks and the key items for investors // Journal of Financial Technology. 2021. V.10(2). pp. 45–62.
12. Khan R., Hasan M. AI inventory management systems: Analyzing customer behavior patterns for optimal stock control // International Journal of Supply Chain Management. 2020. V.36(4). pp. 123–140.
13. Sharma H., Ali S. Maintaining optimal inventory levels using AI in technology companies // Journal of Operations Management. 2019. V.25(3). pp. 78–95.
14. Lee S., Kim H. Revolutionizing inventory management with AI: Data modeling techniques for technology companies // Expert Systems with Applications. 2018. V.45. pp. 256–267.
15. Wang Q., Li W. Optimizing supply chain with AI: Accurate demand forecasting and real-time inventory monitoring // International Journal of Manufacturing Research. 2017. V.178. 123–135.

© Арновати Мохамед Мехди Махмуд (humodez5@gmail.com); Заитер Муродж Фадхиль Заитер (muroojzaiter@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.07

ПРИМЕНЕНИЕ МАЛЫХ БЕСПИЛОТНИКОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СКЛАДСКОГО КОМПЛЕКСА

THE USE OF LIGHT UAVS FOR WAREHOUSE AUTOMATISATION

A. Belyakov

Summary. The article is devoted to the topic of an innovative approach to processing data obtained from unmanned aerial vehicles (UAVs). Unlike traditional solutions where computational operations are performed onboard, the proposed system shifts the main processing load to a ground-based personal computer. This approach significantly optimizes UAV design by reducing weight, power consumption, and onboard equipment complexity. A key advantage of the system is its cost-effectiveness. Since most computations are performed on the ground, there's no need for expensive high-performance onboard processors. This not only reduces UAV production costs but also enhances system reliability, as ground computers are easier to maintain and upgrade. Particular attention is paid to the fact that the proposed solution offers high adaptability. Ground software can be quickly updated with new image processing algorithms without requiring hardware modifications to the drones. This is particularly crucial for monitoring, mapping, and logistics applications where demands for data analysis accuracy and speed are constantly increasing. In the context of current socio-economic challenges facing the Russian Federation, implementing such technologies promotes import substitution and reduces dependence on foreign components. The system has already undergone successful testing, demonstrating its effectiveness in real-world conditions. Thus, transitioning to distributed data processing opens new prospects for UAV technology development, making it more accessible, reliable, and functional.

Keywords: multirotor UAV, quadcopter, drone, UAV, QR-code, image recognition.

Беляков Александр Андреевич
Аспирант, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
kaf13belyakov@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена инновационному подходу к обработке данных, получаемых с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В отличие от традиционных решений, где вычислительные операции выполняются непосредственно на борту, предлагаемая система переносит основную нагрузку на наземный персональный компьютер. Такой подход позволяет значительно оптимизировать конструкцию БПЛА, снижая его массу, энергопотребление и сложность бортового оборудования. Одним из ключевых преимуществ системы является её экономическая эффективность. Поскольку большая часть вычислений осуществляется на земле, отпадает необходимость в дорогостоящих высокопроизводительных бортовых процессорах. Это не только уменьшает себестоимость БПЛА, но и повышает надёжность системы, так как наземные компьютеры проще обслуживать и модернизировать. Кроме того, предложенное решение обладает высокой адаптивностью. Наземное ПО можно быстро обновлять, добавляя новые алгоритмы обработки изображений без необходимости модификации аппаратной части дронов. Это особенно важно для задач мониторинга, картографии и логистики, где требования к точности и скорости анализа данных постоянно растут. В условиях современных социально-экономических вызовов, стоящих перед Российской Федерацией, внедрение подобных технологий способствует импортозамещению и снижению зависимости от зарубежных комплектующих.

Ключевые слова: БПЛА, БАС, мультироторный беспилотный летательный аппарат, квадрокоптер, QR-код, распознавание графической информации.

Введение

В настоящее время наблюдается значительный рост областей применения и отраслей промышленности, в которых применяются беспилотные авиационные системы (БАС) с мультироторными беспилотными аппаратами (БПЛА). К таковым относится в том числе и отрасль обеспечения логистики складов почтовых отправлений, продаваемых дистанционным способом товаров и контейнерных терминалов.

На данный момент уже существуют решения [1][2], которые позволяют беспилотникам обрабатывать графическую информацию, используя бортовую электронику и собственное программное обеспечение. Это значительно повышает стоимость готового изделия и требует применения не относящихся к широко распространённым модулей бортовой авионики БПЛА. Отличительная черта предлагаемой системы заключается в том, что обработка графического изображения происходит на наземном персональном компьютере (ПК), на который передается видеосигнал с основной камеры БПЛА.

Материалы и методы

Целью проведения данного исследования являлась экспериментальная проверка возможности построения

системы, основанной на вышеуказанном принципе. Для этого в лабораторных условиях была воспроизведена обстановка складского помещения, в котором были установлены имитатор контейнера с грузом, место оператора системы, взлётная площадка БПЛА. В качестве места имитатора контейнера — места размещения кода был выбран шкаф. Сам QR-код был распечатан на листе формата А4. Соотношение размеров с реальным контейнером и реальным QR-кодом не учитывалось по причине возможности нанести QR-код в достаточно широком диапазоне размеров, от которых будет зависеть отдаленность БПЛА при работе. Для имитации различных контейнеров на шкаф последовательно наносилось несколько QR-кодов разного содержания.

Аппаратная часть предлагаемой автоматизированной системы состояла из:

- Одного или нескольких БПЛА с камерой и модулем видеопередачи;
- ПК с установленным ПО собственной разработки;
- видеоприёмника, подключённого по интерфейсу USB.
- Программное обеспечение предлагаемой автоматизированной системы:
- Написано на языке программирования Python
- Использует библиотеки pyzbar, opencv-python, openpyxl [3][4][5].

Литературный обзор

QR-код (Quick Response Code) был разработан в 1994 году японской компанией Denso Wave (дочернее предприятие Toyota) для маркировки автомобильных деталей как альтернатива ограниченным в объёме кодируемой информации штрих-кодам, и в отличие от них, содержащих исключительно номер отслеживания почтового отправления, обладает высокой информационной ёмкостью, позволяющей кодирование целых слов и предложений [6, с. 166]. Использование БПЛА в доставке грузов рассматривается как отечественными, так и зарубежными исследователями. В работах по этой теме отмечаются значительные достоинства таких систем, как ускорение [7, с. 1] и повышение точности логистических операций [8, с. 168–169], автоматизацию складских и доставочных процессов, оптимизацию время-затрат [9, с. 1–3][10, с. 4–10], снижение вредности труда и интеграцию в текущие системы управления складом [10, с. 32].

Результаты

Программное обеспечение предлагаемой автоматизированной системы было написано на языке Python [3]. Программа использует заранее подготовленную excel-таблицу для занесения в нее расшифрованных данных. Когда на изображении, принимаемом программой с борта БПЛА через соединённый с компьютером USB-интерфейсом приёмник, появляется QR-код, происходит его считывание и расшифровка. Полученные данные обрабатываются определенным способом, чтобы их было удобно воспринимать человеку. Далее обработанные данные заносятся в ячейки таблицы по заданному пользователем алгоритму. После завершения работы программы таблица сохраняется и становится доступной для чтения и дальнейшего преобразования. Исходный код программы приведён ниже:

```
# coding: utf8
from pyzbar import pyzbar
import cv2
import openpyxl as op
book = op.load_workbook(«tabl_dipl.xlsx»)
sheet1 = book.active
def draw_barcode(decoded, image):
image = cv2.rectangle(image, (decoded.rect.left, decoded.rect.top),
(decoded.rect.left + decoded.rect.width, decoded.rect.top + decoded.rect.height),
color= (0, 255, 0),
thickness=5)
return image
database = ['data']
def decode(image):
bit = 0
# decodes all barcodes from an image
decoded_objects = pyzbar.decode(image)
for obj in decoded_objects:
# print barcode type & data
infor = str(obj.data)
infor = infor.replace(«b», «», 1)
infor = infor.replace(«'», «», 1)
infor = infor.replace(«'», «», -1)
number = int(len(database))
print(infor)

for i in range(number):
if infor == database[i]:
break
elif database[i] == database [-1]:
bit = 1
if bit == 1:
cell = sheet1.cell(number, 1, infor)
database.append(infor)
print(database)
print («Type:», obj.type)
print («Data:», obj.data)
bit = 0
return image
if __name__ == «__main__»:
cap = cv2.VideoCapture(0)
while True:
# read the frame from the camera
_, frame = cap.read()
```

```
# decode detected barcodes & get the image
# that is drawn
frame = decode(frame)
# show the image in the window
cv2.imshow(«frame», frame)
if cv2.waitKey(1) == ord(«q»):
break
book.save(«tabl_dipl.xlsx»)
```

Далее, в лабораторных условиях была воспроизведена обстановка складского помещения, в котором были установлены имитатор контейнера с грузом, место оператора системы, взлётная площадка БПЛА. В качестве места имитатора контейнера — места размещения кода был выбран шкаф. Сам QR-код был распечатан на листе формата А4. Соотношение размеров с реальным контейнером и реальным QR-кодом не учитывалось по причине возможности нанести QR-код в достаточно широком диапазоне размеров, от которых будет зависеть отдаленность БПЛА при работе. Для имитации различных контейнеров на шкаф последовательно наносилось несколько QR-кодов разного содержания. Выбор данного формата был обоснован тем, что в отличие от традиционных систем отслеживания отправлений, в экспериментальном варианте реализации не предполагалось создание физических отправлений (грузов), занесённых в базу данных по их штрих-кодам. Вместе с этим есть смысл отметить и основной недостаток данного формата, заключающийся в возможном несрабатывании системы в условиях плохой печати кода или недостаточной освещённости. Для определения степени влияния этого недостатка на предлагаемую автоматизированную систему при помощи камеры БПЛА были созданы представленные на рисунке 1 изображения заведомо низкого качества. После анализа информационной целостности (возможности считывания) данных изображений, был сделан вывод о сохранении QR-кодом читаемости даже при низком разрешении входного изображения, и, следовательно, о возможности реализации предлагаемой системы.

На рабочем месте оператора были установлены:

- Компьютер;
- установленная и запущенное на компьютере программное обеспечение;
- подключенный к компьютеру приемник.

Обсуждение

Полученные в ходе лабораторных, а далее и полигонных испытаний экспериментального образца автоматизированной системы результаты эксперимента показали её работоспособность в стандартных условиях (естественное или искусственное освещение более 700 Лм, отсутствие умышленно наводимых помех). Разработанная система показала свою состоятельность



Рис. 1. Исследуемые изображения



Рис. 2. Имитатор контейнера с грузом

и работоспособность, возможность её применения на различного рода складах, портах или терминалах с модернизацией под определенные запросы. Также уместно и её дальнейшее совершенствование.

Заключение

Создание экспериментального образца автоматизированной БАС логистического назначения, рассмо-

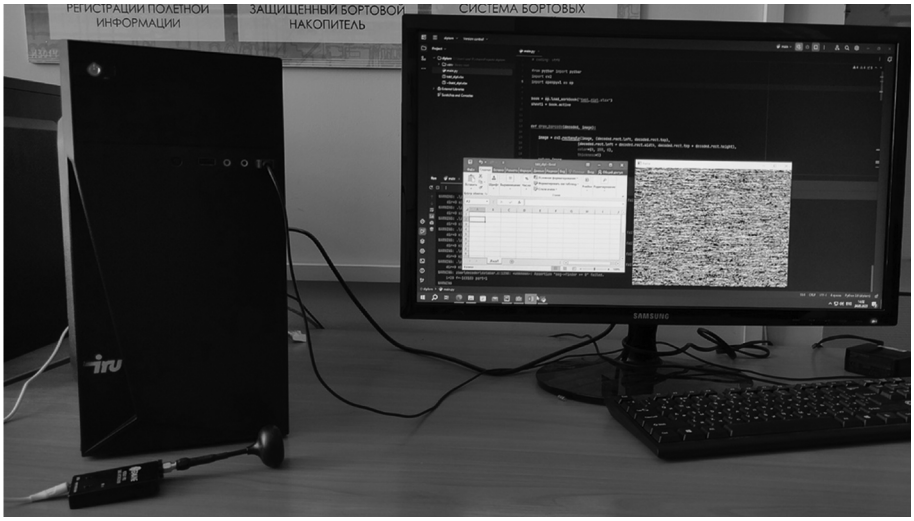


Рис. 3. Рабочее место оператора

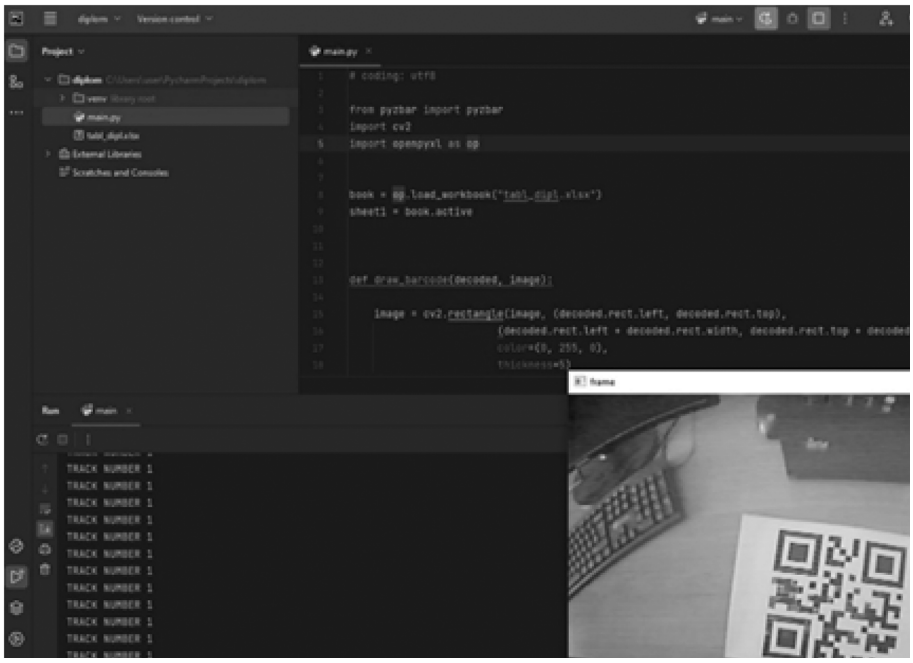


Рис. 4. Рабочее окно программы

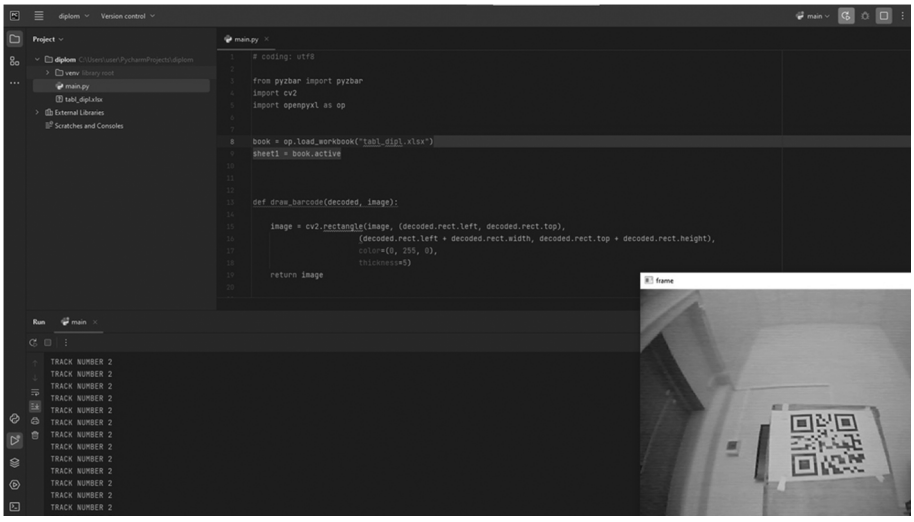


Рис. 5. Рабочее окно при выполнении эксперимента



Рис. 6. Выполнение эксперимента

тренной в данной статье, расширяет круг задач применения БАС сферой автоматизации деятельности складов и грузовых терминалов. Её разработка и интеграция способствует развитию промышленности и народного хозяйства, позволяют автоматизировать требующие значительного объёма ручного труда логистические операции. Итогом разработки в рамках данной статьи стал полностью работоспособный прототип, выполненный на основе БПЛА-квадрокоптера Cloud149, специально предназначенного для совершения полётов в закрытых помещениях, офисного персонального компьютера и приёмника видеосигналов БПЛА общепромышленного назначения. При этом имеет смысл дальнейшая разработка предлагаемой к рассмотрению беспилотной авиационной системы, её масштабирование, исследование надёжности, автоматизация управления и улучшение лётно-технических характеристик используемых БПЛА.

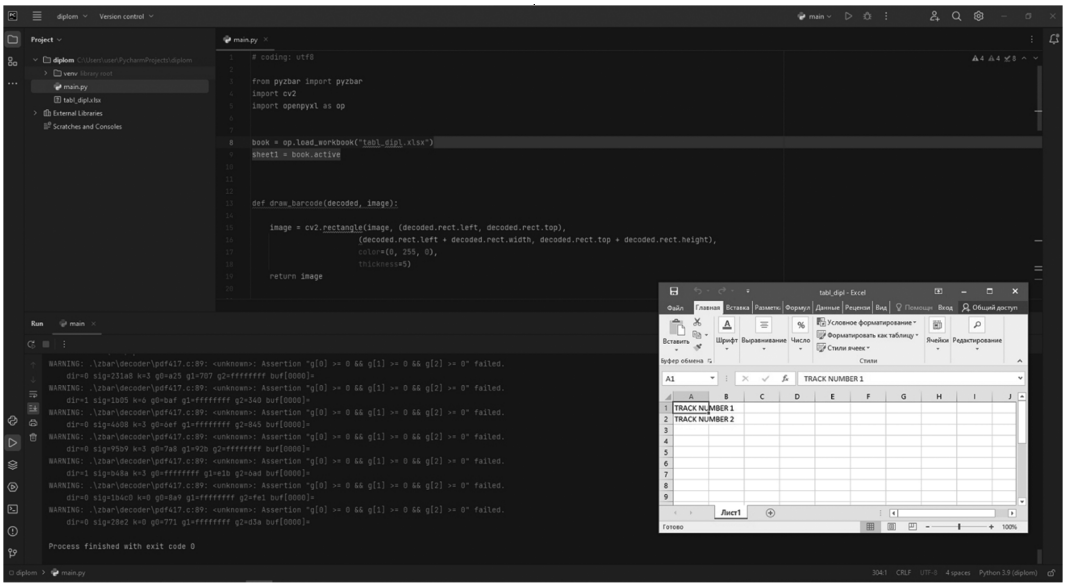


Рис. 7. База данных с внесённой в неё информацией

ЛИТЕРАТУРА

1. UVL Robotics [Электронный ресурс]. — URL: https://uvl.io (дата обращения: 02.02.2023).
2. Softline Robotics [Электронный ресурс]. — URL: https://softline.ru (дата обращения: 02.02.2023).
3. Pyzbar: библиотека для работы с QR-кодами [Электронный ресурс]. — URL: https://pypi.org/project/pyzbar/ (дата обращения: 02.02.2023).
4. OpenCV Python documentation [Электронный ресурс]. — URL: https://docs.opencv.org (дата обращения: 02.02.2023).
5. Openpyxl documentation [Электронный ресурс]. — URL: https://openpyxl.readthedocs.io (дата обращения: 02.02.2023).
6. Features and Applications of QR Codes // May 2022 International Journal for Innovation Education and Research — 2022. №3. — С. 166–169.
7. Белозёров О.И., Кравцов А.Е. Доставка грузов с использованием дронов: технологический прогресс и перспективы // Современные инновации. — 2024. — № 1.
8. Машненков Д.В. Перспективы использования БПЛА в логистике // Инновации и инвестиции. — 2023. — № 6. — С. 168–171.
9. Paul A., Levin M.W., Waller S.T., Rey D. Data-driven Optimization for Drone Delivery Service Planning with Online Demand.
10. Jazairy A., Persson E., Brho M., von Haartman R., Hilletofth P. Drones in last-mile delivery: a systematic literature review from a logistics management perspective // The International Journal of Logistics Management. — 2025. — Vol. 36, № 7. — С. 1–62.

© Беляков Александр Андреевич (kaf13belyakov@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.08

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ ПЕРСОНАЛА ТОРГОВЫХ СЕТЕЙ

FEATURES OF DESIGNING AN INFORMATION SYSTEM FOR SCHEDULING THE WORKING HOURS OF RETAIL CHAIN STAFF

E. Berger
Yu. Kirillina
E. Poremov

Summary. With the rapid advancement of technology and growing demands for planning speed and accuracy, traditional information systems often prove ineffective. Progressive retail chains recognize that to sustain growth and enhance competitiveness, they must modernize their Workforce Management systems, aligning them with contemporary labor market standards and expectations. This article explores the design specifics of an information system for staff scheduling in retail chains, aimed at optimizing workforce efficiency and supporting the achievement of corporate business objectives.

Keywords: working time planning, Workforce Management, corporate information network, planning module, IT architecture, automation of business processes.

Бергер Екатерина Геннадьевна
кандидат экономических наук, доцент, Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва
berger@mirea.ru
Кириллина Юлия Владимировна
кандидат экономических наук, доцент, Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва
kirillina@mirea.ru
Поремов Евгений Сергеевич
Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва
poremov.e.s@edu.mirea.ru

Аннотация. В условиях стремительного развития технологий и увеличения требований к скорости и точности планирования традиционные информационные системы часто оказываются неэффективными. Прогрессивные торговые сети понимают, что для дальнейшего развития и повышения конкурентоспособности необходимо модернизировать свои WFM-системы, адаптируя их к современным стандартам и ожиданиям рынка труда. В данной статье рассматриваются особенности проектирования информационной системы, используемой торговыми сетями для планирования рабочего времени персонала, что позволит повысить эффективность управления персоналом и обеспечить выполнение бизнес-целей компании.

Ключевые слова: планирование рабочего времени, Workforce Management, корпоративная информационная сеть, модуль планирования, ИТ-архитектура, автоматизация бизнес-процессов.

В современном бизнес-мире, где операционная эффективность и оптимальное использование человеческого капитала являются ключевыми факторами успеха, эффективное планирование рабочего времени становится неотъемлемой частью управления персоналом. Торговые сети, сталкиваясь с динамичными изменениями на рынке, нуждаются в точном и оперативном распределении рабочих смен для повышения качества обслуживания и увеличения выручки. Современные WFM-системы — системы управления рабочим временем персонала (Workforce Management) предоставляют широкий спектр функциональности и позволяют автоматизировать процессы планирования, контроля и анализа рабочего времени, что способствует оптимизации использования персонала и снижению операционных затрат.

Торговые сети стремятся к автоматизации процессов для повышения эффективности, снижения затрат и улучшения клиентского опыта. Использование комплексных ИТ-решений для автоматизации бизнес-процессов управления персоналом в различных отраслях, особенно в торговых сетях включает в себя:

- разработку программного обеспечения для планирования рабочего времени и учета персонала;
- консультирование и сопровождение внедрения ИТ-решений для бизнеса;
- обучение сотрудников компаний-клиентов работе с разработанными информационными системами;
- компания работает с торговыми сетями, нуждающимися в автоматизации процессов учета рабочего времени.

К основным недостаткам процесса планирования рабочего времени персонала торговых сетей без использования WFM-системы можно отнести:

- ручное составление графиков — менеджер формирует расписание вручную, что увеличивает временные затраты и риск ошибок.

— разрозненное хранение данных — часть информации содержится в бумажных документах, часть — в электронном виде, что усложняет доступ и обработку.
— высокую вероятность ошибок — из-за человеческого фактора при ручном планировании могут возникать неточности и недочеты.
— трудоемкость внесения изменений — любая корректировка требует значительного времени, так как весь процесс выполняется вручную.

Эти недостатки существенно снижают эффективность системы планирования, особенно в условиях крупных торговых сетей, где важны оперативность и точность распределения рабочего времени сотрудников. Можно адаптировать выявленные недостатки и предложить улучшения, которые будут соответствовать процессам. Внедрение WFM-системы упростит планирование рабочего времени и распределение смен. Все нужные данные — списки сотрудников, графики отпусков, требования ТК РФ — будут храниться в одной системе, а не в разрозненных бумажных и электронных документах. Внедрение системы позволит, исходя из необходимой численности персонала по сменам, учесть пожелания сотрудников по графикам и соблюсти при этом требования трудового законодательства.

В рамках проектирования рассматривается несколько ключевых моделей процессов, которые помогают улучшить управление рабочим временем персонала в торговых сетях:

1. Сбор и анализ данных о рабочем времени. Этот процесс включает в себя сбор данных о рабочих сменах сотрудников, учёт переработок, отпусков и других временных факторов. Все данные собираются в единую базу, что позволяет создавать точные отчеты по использованию рабочего времени и эффективно управлять сменами.
2. Автоматизация планирования смен. Система автоматизирует процесс распределения сотрудников по сменам, с учетом их квалификации и требований бизнеса. Это позволяет не только оптимизировать распределение рабочего времени, но и снизить затраты, связанные с ошибками в расчётах, ускоряя и упрощая процессы планирования.
3. Интеграция с другими бизнес-системами. Разработанные решения интегрируются с другими корпоративными системами, такими как системы управления персоналом, расчетом заработной платы и корпоративными учетными системами. Это обеспечивает единую информационную базу и повышает эффективность работы организации в целом.

Представить процесс планирования рабочего времени персонала торговых сетей можно в нотации BPMN 2.0 (Рисунок 1).

При внедрении WFM-системы процесс определения расчетного периода формализуется следующим образом: менеджер выбирает планируемый временной интервал и вносит в систему необходимые исходные данные, система автоматически выполняет расчет рабочих часов, проверяет соответствие трудовому законодательству и формирует план. Все вычисления производятся программными средствами без ручного вмешательства, что исключает арифметические ошибки и сокращает время обработки данных. Процедуру автоматического распределения смен менеджер инициирует через интерфейс WFM-системы. Система анализирует производственную потребность в персонале, учитывая установленные нормативы и параметры рабочего графика. После выполнения расчетов осуществляется автоматическая проверка соответствия полученного распределения смен плановым показателям покрытия потребности. При положительном результате проверки система автоматически формирует окончательный вариант рабочего графика, готовый к утверждению. В случае выявления несоответствия плановым показателям, система предоставляет менеджеру аналитическую информацию для последующей корректировки исходных данных и повторного запуска процедуры распределения.

В контексте торговых сетей, проектируемая ИС направлена на оптимизацию процессов планирования рабочего времени персонала торговых сетей и достижение ряда целей:

1. Улучшение производительности за счет оптимизации процесса распределения смен, учета рабочего времени и формирования отчетов. Это может включать внедрение более мощного серверного оборудования, оптимизацию алгоритмов планирования и улучшение инфраструктуры сети для обеспечения быстрого доступа к системе.
2. Обновление технологий, таких как облачные вычисления, мобильные приложения и интеграция с календарями, повысит надежность, гибкость и удобство использования системы: это позволит сотрудникам и руководителям получать доступ к данным о рабочем времени в режиме реального времени, независимо от их местоположения.
3. Улучшение пользовательского опыта делает систему интуитивно понятной и удобной в использовании: разработка нового интерфейса, улучшение навигации и добавление функций, таких как уведомления об изменениях в расписании.
4. Увеличение безопасности от угроз со стороны киберпреступников: внедрение новых механизмов аутентификации, шифрования данных и контроля доступа, чтобы предотвратить несанкционированный доступ и утечку информации.
5. Снижение затрат и упрощение поддержки позволит уменьшить затраты на эксплуатацию и поддержку системы путем оптимизации процессов,

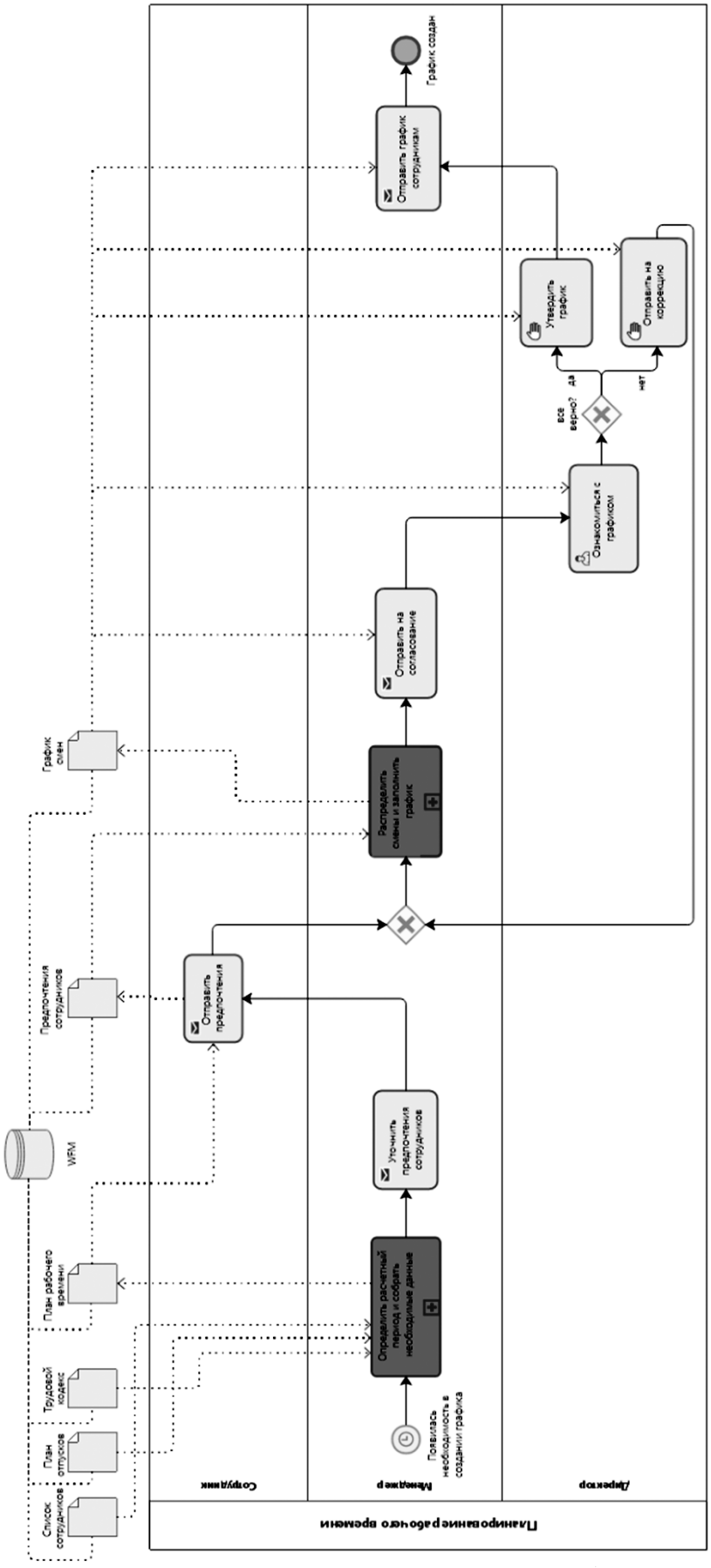


Рис. 1. Контекстная диаграмма процесса «Планирование рабочего времени персонала торговых сетей»

автоматизации рутинных задач и сокращения времени простоя системы, что упростит управление данными и их миграцию при необходимости.

Проектируемая WFM-система планирования рабочего времени должна удовлетворять следующим функциональным требованиям:

- интеграция с корпоративной системой управления персоналом, системой учета кадров и системами расчета заработной платы;
- наличие возможности выбора и настройки шаблонов графиков работы с учетом специфики торговой сети;
- автоматическое формирование расписаний для типовых смен на основе анализа текущей загрузки персонала и прогнозируемых потребностей;
- логгирование всех изменений в расписании с указанием ответственных лиц, даты и времени внесения корректировок;
- возможность оперативного внесения корректировок в расписание в режиме реального времени через внутренние порталы или мобильные приложения;
- автоматическая публикация обновленных расписаний для сотрудников торговой сети;
- генерация стандартных отчетов по рабочему времени за заданный период, что позволяет проводить анализ эффективности использования ресурсов.

Корпоративная информационная сеть (КИС) позволяет повысить производительность, эффективность и координацию работы различных подразделений и сотрудников. Основные архитектурные особенности КИС обеспечивают подключение как удаленных сотрудников торговых сетей, так и офисных пользователей. Офисные сотрудники имеют доступ как во внутреннюю сеть компании, так и во внешнюю сеть Интернет через коммутатор и маршрутизатор. Удаленные сотрудники торговых сетей получают аналогичный доступ, но для подключения к корпоративной сети им необходимо активировать VPN-соединение, что обеспечивает безопасность передачи данных.

Центральным элементом системы является сервер планирования. Сервер подключен к базе данных, где хранится вся информация о расписаниях, рабочих часах и других данных, связанных с планированием времени сотрудников. База данных обеспечивает целостность, консистентность и безопасность данных, а также позволяет оперативно обрабатывать запросы от пользователей системы.

ИТ-архитектура проектируемой WFM-системы содержит модуль планирования рабочего времени и показывает, как роли, сервисы, модули и техническая часть взаимодействуют друг с другом (Рисунок 2).

WFM-система планирования рабочего времени персонала торговых сетей включает несколько уровней, которые обеспечивают эффективное управление рабочим временем персонала. На верхнем уровне находятся ключевые процессы, такие как планирование рабочего времени, учет рабочего времени, контроль соблюдения трудового законодательства, а также аналитика и отчетность. Эти процессы реализуются с помощью различных сервисов, включая интеграцию с внешними системами для обмена данными, создание и управление расписаниями, а также обработку и отправку уведомлений о важных изменениях в расписаниях. Сервис аналитики и отчетности собирает данные и формирует отчеты для мониторинга эффективности использования рабочего времени.

Модуль управления сменами и модуль управления персоналом помогают оптимизировать распределение сотрудников, а сервис учета рабочего времени контролирует фактическое отработанное время сотрудников и фиксирует изменения в расписаниях. На нижнем уровне инфраструктура включает серверы, базы данных и систему управления, что обеспечивает бесперебойную работу всех сервисов и их взаимодействие друг с другом.

Таким образом, преимущества проектируемой системы планирования рабочего времени персонала торговых сетей заключаются в следующем:

1. Увеличение точности составления расписаний за счет автоматического формирования графиков работы на основе заранее заданных шаблонов и актуальных данных о загруженности персонала.
2. Сокращение временных затрат на ручное планирование, что позволяет снизить вероятность ошибок при распределении сотрудников по сменам.
3. Обеспечение оперативного внесения изменений в графики в режиме реального времени, что позволяет быстро реагировать на изменения в условиях работы торговой сети.
4. Интеграция с корпоративными системами управления персоналом и системами расчета заработной платы, что способствует созданию единого информационного пространства и повышению прозрачности процессов.

Разработка и внедрение такой WFM-системы в торговых сетях позволит оптимизировать процессы планирования рабочего времени, повысить эффективность управления персоналом и обеспечить выполнение бизнес-целей компании. Это является важным шагом для повышения эффективности работы торговых сетей и обеспечения устойчивого конкурентного преимущества в условиях современного рынка труда.

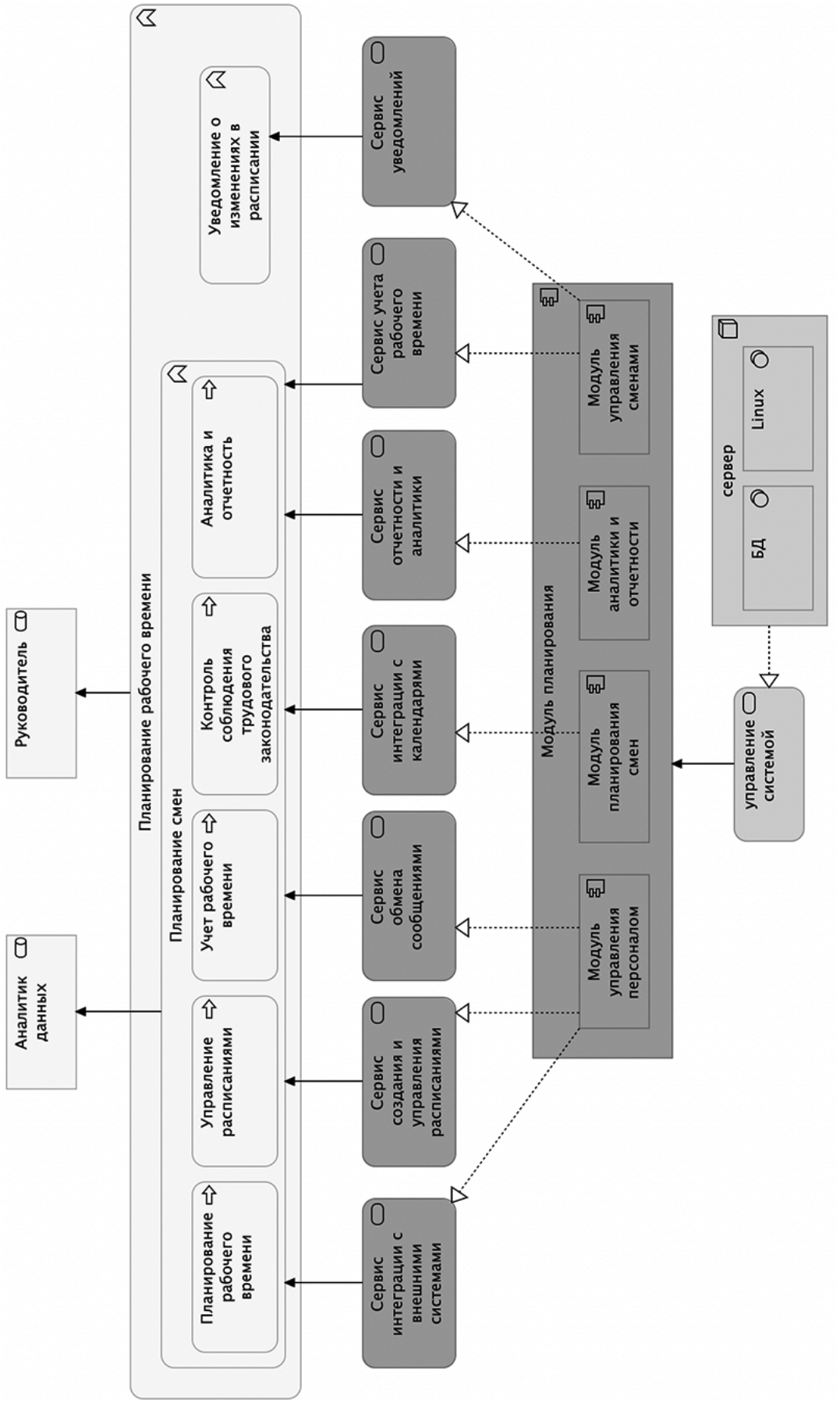


Рис. 2. ИТ архитектура модуля планирования торговых сетей

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбак О.В. HR-аналитика и IT-инструменты / О.В. Рыбак. — Москва: Альпина Паблишер, 2023. — 198 с.
2. Rarus: Главная страница [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://rarus.ru/ (дата обращения: 04.04.2025). — Загл. с экрана. — Яз. рус.
3. 1С-Рарус [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://vk.com/rarus1c (дата обращения: 04.04.2025). — Загл. с экрана. — Яз. рус.
4. Организационная структура предприятия: виды и схемы [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://kontur.ru/articles/4197 (дата обращения: 06.04.2025). — Загл. с экрана. — Яз. рус.
5. Хрусталева Е.Ю. Знакомство с разработкой мобильных приложений на платформе «1С: Предприятие 8». Издание 3. / Е.Ю. Хрусталева. — Москва: 1С-Паблишинг, 2022. — 276 с.
6. Нефункциональные требования: как не пустить систему ко дну / SimbirSoft [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/simbirsoft/articles/688428/ (дата обращения: 06.04.2025). — Загл. с экрана. — Яз. рус.
7. Автоматизация бюджетирования в ООО УК «ФБК» на базе «1С: Управление холдингом» и разработка мобильного приложения для учета рабочего времени [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://solutions.1c.ru/projects/1070326/ (дата обращения: 10.04.2025). — Загл. с экрана. — Яз. рус.
8. Брагин Л.А. Автоматизация управления торговым предприятием / Л.А. Брагин, Т.П. Данько. — Москва: Академия, 2021. — 320 с.
9. Калашников А.П. Цифровые технологии в розничной торговле / А.П. Калашников. — Санкт-Петербург: Питер, 2022. — 256 с.
10. Абрютина М.С. Анализ финансово-экономической деятельности предприятия / М.С. Абрютина, А.В. Грачев. — Москва: Дело и Сервис, 2018. — 432 с.
11. Бычков В.П. Управление персоналом в розничной торговле / В.П. Бычков, А.М. Кузьмин. — Санкт-Петербург: Питер, 2020. — 304 с.

© Бергер Екатерина Геннадьевна (berger@mirea.ru); Кириллина Юлия Владимировна (kirillina@mirea.ru);
Поремов Евгений Сергеевич (poremov.e.s@edu.mirea.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.10

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНЦИДЕНТОВ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

FORECASTING INCIDENTS IN INFORMATION SECURITY SYSTEMS

D. Budnikov

Summary. The article is devoted to the topic of identifying incidents in information security systems. Special attention is paid to the effective identification of deviations and improving the quality of forecasts.

Keywords: information security, information security systems.

Будников Дмитрий Александрович
Аспирант, Финансовый университет при Правительстве РФ
devilrdie777@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена теме выявления инцидентов в системах защиты информации. Особое внимание уделяется эффективному выявлению отклонений и повышению качества прогнозов.

Ключевые слова: информационная безопасность, системы защиты информации.

В статье рассмотрена методология, направленная на помощь в определении основных устройств и параметров, имеющих решающее значение для практических задач. Она способствует увеличению контрастности обнаруживаемых сигналов и актуализирует необходимость внедрения механизма, способствующего выявлению инцидентов. Обозначены требования к критериям, необходимым для обнаружения инцидентов. Использование предложенного метода в сочетании с наблюдаемыми характеристиками обеспечит эффективное выявление отклонений и повысит качество прогнозов.

Системы выявления инцидентов, работающие по сигнатурному принципу, служили основой защиты сетевых границ и находятся в центре активных исследований [5, 6]. Значительный интерес вызывают нейронные сети и машинное обучение, включая нечеткие логические методы, которые существенно способствуют выявлению аномалий в сетевом трафике [7–9]. Кроме того, получают заслуженное признание статистические методы анализа инцидентов [4, 10–13].

В своем научном исследовании Д.О. Ковалев [3] развил алгоритмические подходы для выявления инцидентов в текстах, полученных от систем мониторинга. Основой методики стало использование динамической таблицы показателей, демонстрирующей распределение сообщений, позволяя применять квадратичную интерполяцию для определения математического ожидания и дисперсии в рамках заданного временного интервала. Применение нечеткой логики стало центральным элементом анализа полученных данных.

Тем не менее, несмотря на достижения Ковалева, его методики инцидентного мониторинга не отвечают современным требованиям отслеживания состояния критически важных систем, поскольку изначально они разрабатывались для более простых систем.

Изучение внутреннего строения КССБ выявляет сложную архитектуру, обрабатывающую значительные объемы разнообразных данных. В структуре КССБ функционирует в пределах двадцати разновидностей узлов, осуществляющих взаимодействие друг с другом на аппаратном уровне, каждый из которых имеет индивидуальное программное обеспечение.

Временной ряд, отображающий динамику поведения КССБ, представляет собой зависимость количественного показателя от времени. Он отражает как положительные, так и отрицательные колебания. В функционировании КССБ выделяют несколько этапов: нормальный режим, отклонение от нормы, пред инцидентный этап и непосредственно сам инцидент. Каждый этап имеет собственные особенности и активно влияет на функционирование системы, что критично для анализа временных рядов. На момент инцидента отмечаются резкие колебания таких параметров, как скорость, напряжение и частота. Эти колебания поддаются оценке с применением различных статистических методов, что способствует созданию более точных моделей для прогнозирования динамики поведения системы. В связи с изменением статистического распределения показателей во время инцидента важно разработать соответствующие модели для анализа и предсказания последующего состояния системы.

Представленный метод обнаружения инцидентов основывается на формировании временных рядов, которые состоят из показателей КССБ. После этого полученные ряды подвергаются анализу с применением различных прогнозирующих методик. Основной принцип данного метода заключается в выявлении инцидентов путем сопоставления действительных значений исследуемого показателя с его прогностическими оценками.

Согласно [14], прогноз выступает в роли вероятностного предположения о будущем состоянии объекта исследования. Сам процесс прогнозирования представляет собой предсказание будущих событий на основании научных методов. Он охватывает комплексное исследование тенденций и ожидаемых изменений в анализируемом явлении. В современных научных исследованиях наблюдается широкий спектр прогнозных методов, а также разнообразие классификаций и подходов к ним.

На изображении 1 представлена система классификации прогнозирующих методов, созданная Э.Е. Тихоновым [15]. В соответствии с этой схемой выделяются две основные категории: интуитивные и формализованные подходы.

Интуитивные подходы, опирающиеся на мнения и оценочные суждения экспертов, находят широкое применение в таких областях, как экономика, политология и маркетинг. Наиболее очевидно в этих сферах проявляется недостаточная точность предсказания поведения систем при использовании математических моделей. В отдельных случаях системы оказываются элементарными, и использование сложных математических методов становится неоправданным.

Согласно авторитетным источникам, формализованные методы прогнозирования ассоциируются с созданием математических моделей, использующихся для предсказания будущих значений различных процессов. Эти методы позволяют достичь точных прогнозов на основе расчетов, основанных на анализе исторической информации.

Прогнозирование подразумевает применение различных технологий, охватывающих широкий спектр методов: экспертные, статистические (включая анализ временных рядов, корреляционно-регрессионный анализ и прочие), экономико-математические и аналогичные. Конкретный метод подбирается с учетом исследовательских целей, задач, которые необходимо решить, а также имеющихся ресурсов. Прогностическая модель характеризуется специализированной абстракцией, опирающейся на четко сформулированные концепции, которая минимизирует предпосылки и позволяет определить влияние отдельных факторов на итоговый показатель, даже в условиях неопределенности. Иными словами, прогностическая модель выступает в роли «интеллектуальной регрессионной формулы», адаптируемой к специфическим задачам.

Метод прогнозирования включает реализацию комплекса действий, необходимых для формирования модели, способной предсказать динамику или поведение определённого процесса.

Модель прогнозирования обязана достоверно отображать объект, подлежащий прогнозированию, и обеспечивать возможность генерации актуальных прогнозов.

Анализ исследований демонстрирует разнообразие методов, предназначенных для разработки прогнозных моделей [15]. В трудовой диссертации И.А. Чучуевой [16] предложена двухуровневая классификация методов, которая выделяет два базовых направления: модели, относящиеся к конкретным предметным областям, и временные модели.

Модели предметных областей представляют собой специализированные научные конструкции, отражающие закономерности, характерные для определённой сферы науки и техники. Формирование данных моделей основывается на изучении взаимосвязей ключевых категорий, свойственных конкретной области. При построении подобных моделей следует учитывать индивидуальные условия и уникальные особенности каждой предметной области.

Модели временных рядов, в отличие от прочих подходов, созданы с целью предсказания будущих показателей, на основе собранных данных, охватывающих предшествующие временные промежутки. Указанные модели обладают универсальным характером и могут интегрироваться в самые разнообразные сферы применения, при этом их основная структура остаётся неизменной вне зависимости от признаков анализируемых временных рядов.

Статья охватывает совершенствование методов обработки временных рядов в области обеспечения безопасности. Главная задача исследования заключается в создании алгоритмов предсказания, обеспечивающих оперативное выявление инцидентов, что является важным аспектом охраны объектов.

При выборе методов прогнозирования основным критерием служит срок предсказания, который должен быть согласован с циклом целевого объекта. Этого согласования достигают при помощи безразмерного прогностического коэффициента q [18].

$$q = \Delta w / w, \qquad (1.1)$$

где Δw — абсолютное время упреждения; w — величина эволюционного цикла объекта прогнозирования.

Формальные методы предсказания демонстрируют максимальную эффективность, когда $q << 1$ менее единицы, что подразумевает временной горизонт анализа до одного года. Способность этих методов обеспечивать точное отражение всех известных факторов, воздейству-

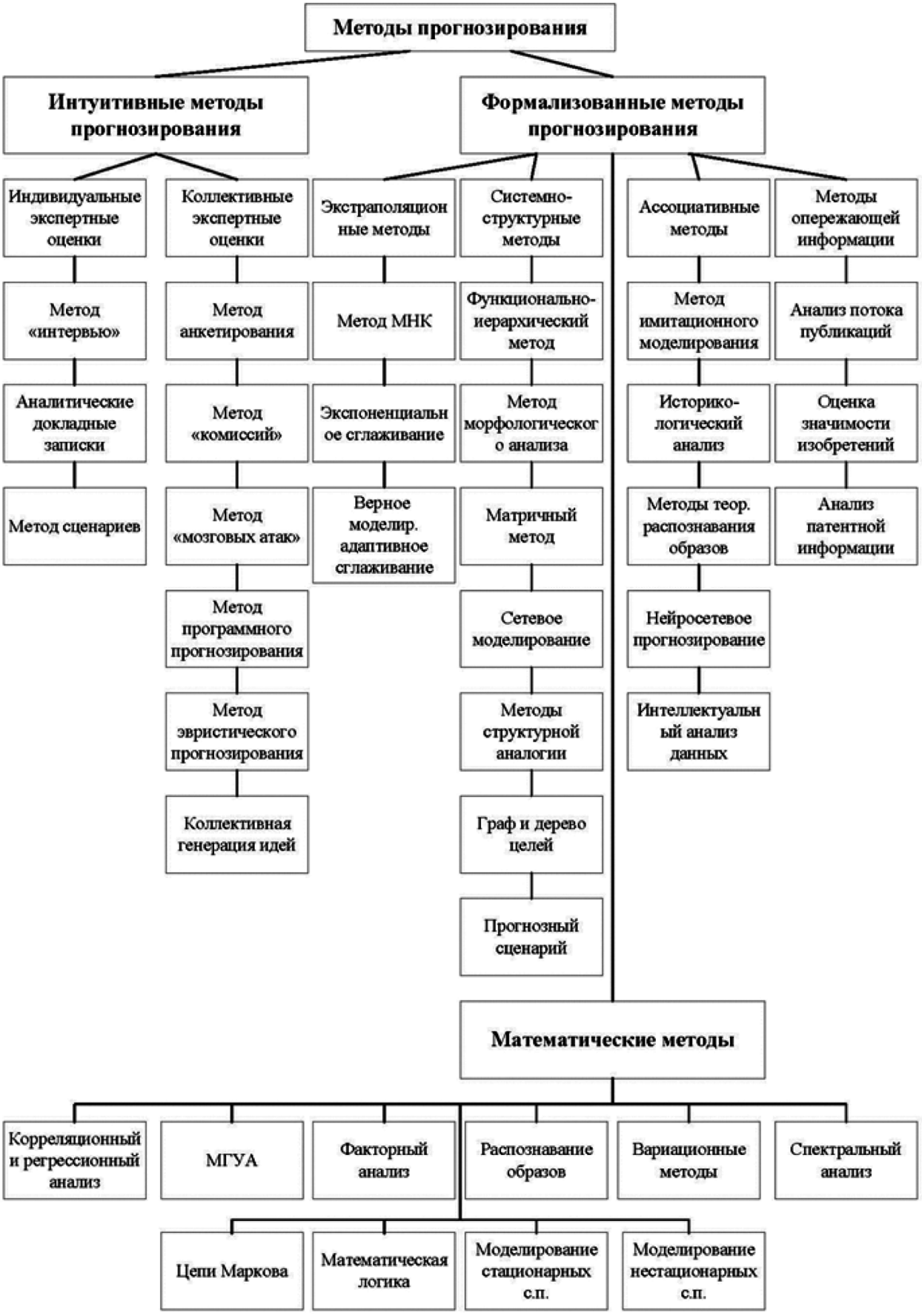


Рис. 1. Классификационная схема методов прогнозирования

ющих на прогнозируемые объекты, обусловливает такое положение дел. При необходимости выполнения долгосрочных предсказаний следует принимать во внимание вероятность значительных изменений в экономической и политической сфере, что существенно влияет на предсказательную точность.

В указанных условиях интуитивные подходы становятся востребованными для определения вероятных «скачков» и продолжительности их проявления. Обычно, когда значение ц превышает одну единицу — это может указывать на присутствие нескольких циклов роста.

Управление системами комплексного сбора и обработки данных (КССБ) в локальных сетях требует отказа от долгосрочных прогнозов на недели и месяцы, заменив их краткосрочными предсказаниями на весь эволюционный цикл. Использование актуальных данных позволяет формализованным методам предсказания стать действенным инструментом в данном направлении.

При составлении краткосрочных прогнозов ключевым моментом выступает изучение значений параметров, зафиксированных в течение определённого периода. На базе методик, рассмотренных в разделе, разрабатывается хранилище данных, состоящее из множества различных значений переменных, фиксируемых в разные временные моменты. Изменяющиеся во времени параметры позволяют получить временной ряд.

Методы анализа временных рядов предполагают набор последовательных наблюдений, собранных за определённый срок. Данный подход служит базой для предсказания и экстраполяции. В рамках предложенного исследования продемонстрирована одна из действенных методик предсказания, в состав которой входят алгоритмы наименьших квадратов [19], экспоненциальное сглаживание и вероятностное моделирование.

Метод наименьших квадратов (МНК), хотя и считается наилучшим средством для краткосрочного прогнозирования, требует соблюдения множества условий по нормальности ошибок. Кроме того, выбор соответствующей модели тенденции основывается на различных статистических критериях, что вызывает определённые затруднения.

Классические модели экстраполяции временных рядов фокусируются на выявлении закономерностей в прошлых данных с целью предсказания будущих значений. В противоположность им, вероятностные модели предоставляют более глубокий и комплексный метод, принимающий во внимание неопределенности и колебания в данных.

Модели временных рядов описываются функциями и коэффициентами, выведенными из собранных наблюдений, в то время как вероятностные модели сосредоточены на расчетах вероятностей. Следует подчеркнуть: вероятностные подходы оценивают последовательности наблюдений на основании их статистического распределения без учета временной зависимости. Указанное ограничение противоречит критериям и препятствует эффективному решению поставленных задач.

Экспоненциальное сглаживание, в отличие от ранее перечисленных методов, сосредоточено на выявлении параметров тренда, которые не только отображают средние значения, но и акцентируют внимание на актуальной динамике показателя в момент последнего измерения. Ключевыми преимуществами этого подхода выступают учет весов исходных данных, простота вычислений и высокая адаптивность к различным типам процессов.

В предложенном методе прогнозирования актуальные данные получают большее значение в сравнении с прошлыми, при этом величина этого значения увеличивается в соответствии с геометрической прогрессией. Экспоненциальное сглаживание соответствует установленным критериям, однако существует одна особенность.

Установление параметров сглаживания, начальных условий и порядка полинома выступает важной задачей в практическом применении указанных подходов в научной и инженерной сферах [15]. Исследования, изложенные в [18], продемонстрировали, что модели второго порядка не обеспечивают значительного прироста точности предсказаний по сравнению с моделями первого порядка, однако требуют более сложных вычислений.

В результате применения метода экспоненциального сглаживания он стал ведущим методом в среднесрочном прогнозировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пустить в расход: как менялся бюджет России за десятилетие [Электронный ресурс] // Лента.Ру. — Электрон. дан. — [Б.м.], 2013. — URL: http://lenta.ru/articles/2013/10/08/budget (дата обращения: 18.02.2025).
2. Концепция построения и развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город»: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 дек. 2014 г. № 2446-р [Электронный ресурс] // Правительство Российской Федерации: официальный сайт. — Электрон. дан. — М., 2014. — URL: http://government.ru/media/files/0apBppc8jyA.pdf (дата обращения: 06.02.2025).
3. Ковалев Д.О. Выявление нарушений информационной безопасности по данным мониторинга информационно — телекоммуникационных сетей: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Д.О. Ковалев. — М., 2011. — 25 с.
4. Баранов В.А. Обнаружение инцидентов информационной безопасности как разладки процесса функционирования системы: дис. ... канд. техн. наук [Электронный ресурс] / В.А. Баранов // DisserCat: научная электронная библиотека. — Электрон дан. — СПб., 2013. — URL: http://www.dissercat.com/content/obnaruzhenie-intsidentov-informatsionnoi-bezopasnosti-kak-razladki-protsessa-funktsionirovan#ixzz3lXtMntrK (дата обращения: 05.02.2025).
5. Половко И.Ю. Анализ функциональных требований к системам обнаружения вторжений [Электронный ресурс] / И.Ю. Половко, О.Ю. Пескова // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2014. — № 2 (151). — С. 8692. — Электрон. версия печатн. публ. — URL: http://cyberleninka.rU/article/n/analiz-funktsionalnyh-trebovaniy-k-sistemam-obnaruzheniya-vtorzheniy#ixzz3mejyq18n (дата обращения: 13.02.2025).
6. Камаев В.А. Методология обнаружения вторжений [Электронный ресурс] / В.А. Камаев, В.В. Натров // Известия ВолгГТУ. — 2006. — № 4. — С. 148–153. — Электрон. версия печатн. публ. — URL: http://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-obnaruzheniya-vtorzheniy#ixzz3mehexVma (дата обращения: 14.02.2025).
7. Слеповичев И.И. Обнаружение DDoS атак нечеткой нейронной сетью / И.И. Слеповичев, П.В. Ирматов, М.С. Комарова, А.А. Бежин // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Математика. Механика. Информатика. — 2009. — № 9:3. — С. 84–89.
8. Goyal A. GA-NIDS: A Genetic Algorithm based Network Intrusion Detection System [Electronic resource] / A. Goyal, Ch. Kumar // Northwestern University. — Electronic data. — Evanston, IL, [s.a.]. — URL: http://www.cs.northwestern.edu/~ago210/ganids/GANIDS.pdf (дата обращения: 14.02.2025).
9. Поздняков С.А. Использование схемы совпадений в системах обнаружения вторжений на основе нейронных сетей / С.А. Поздняков // Вестник Омского государственного университета. — 2012. — № 2 (64). — С. 189–190.
10. Баранов В.А. Оценка момента вторжения статистическими методами / В.А. Баранов // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — 2011. — № 2. — С. 24–31.
11. Жуков В.Г. Модель синтеза коллективов интеллектуальных информационных технологий решения задачи обнаружения инцидентов информационной безопасности // В.Г. Жуков, В.В. Бухтояров // Программные продукты и системы: международный научно-практический журнал. — 2014. — № 1 (105). — С. 20–25.
12. Котов В.Д. Современное состояние проблемы обнаружения сетевых вторжений / В.Д. Котов, В.И. Васильев // Вестник УГАТУ. — 2012. — № 3 (48). — С. 198–204.
13. Исхаков С.Ю. Анализ трафика и моделирование сетевых атак с использованием методов прогнозирования / С.Ю. Исхаков, А.О. Шумская //Общество, современная наука и образование: проблемы и перспективы: сб. науч. тр. по матер. Межд. науч.-практ. конф., Тамбов, 30 нояб. 2012 г. — Тамбов: Бизнес-Наука-Общество, 2012. — Ч. 10. — С. 28–30.
14. Тихонов Э.Е. Прогнозирование в условиях рынка: учеб. пособие / Э.Е. Тихонов. — Невинномысск, 2006. — 221 с.
15. Сидоров С.Г. Анализ временных рядов как метод построения потребления электроэнергии / С.Г. Сидоров, А.В. Никологорская // Вестник ИГЭУ. — 2010. — Вып. 3. — С. 81–83.
16. Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия: дис. ... канд. техн. наук [Электронный ресурс] / И.А. Чучуева. — М., 2012 // Математические бюро. — Электрон. дан. — URL: http://www.mbureau.ru/sites/default/files/pdf/Chuchueva-Dissertation.pdf (дата обращения: 27.02.2025).
17. Широков Л.А. Исследование систем управления: учеб. пособие / Л.А. Широков. — М.: Изд-во МГИУ, 2010. — 168 с.
18. Галустян М.Ж. Проблемы использования метода наименьших квадратов при оценке и прогнозировании динамики фондовых рынков / М.Ж. Галучтян // Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. — 2015. — № 2–1. — С. 88–92.
19. Goodwin P. The Holt-Winters Approach to Exponential Smoothing: 50 Years Old and Going Strong [Electronic resource] / P. Goodwin // International Institute of Forecasters. — Electronic data. — [S.l.], 2010. — URL: http://forecasters.org/pdfs/foresight/free/Issue19_goodwin.pdf (дата обращения: 27.02.2025).

© Будников Дмитрий Александрович (devilrdie777@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.11

АНАЛИЗ УРОВНЯ ОСВЕЩЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

SURFACE ILLUMINATION LEVEL ANALYSIS BASED ON COMPUTER INFORMATION PROCESSING METHODS USING MACHINE LEARNING

A. Buryi

Summary. The article is devoted to the analysis of the surface illumination level based on computer methods of information processing and machine learning. A convolutional neural network model has been developed that can determine illumination from images taken at fixed shooting parameters. It has been found that the use of logarithmic transformation and the error backpropagation algorithm reduces the impact of outliers and increases the accuracy of the model, while data optimization and reduction of the illumination range (no more than 600 lux, no more than 400 lux and no more than 300 lux) ensure the stability of the results. The scientific novelty lies in the adaptation of machine learning methods for analyzing illumination at the microlevel, which expands the possibilities of automated illumination control.

Keywords: illumination, convolutional neural network, machine learning, computer analysis, automation.

Бурый Антон Сергеевич
Калифорнийский государственный университет, Нортридж
buryyanton@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена анализу уровня освещенности поверхности на основе компьютерных методов обработки информации и машинного обучения. Разработана модель сверточной нейронной сети, способная определять освещенность по изображениям, снятым при фиксированных параметрах съемки. Установлено, что применение логарифмической трансформации и алгоритма обратного распространения ошибки снижает влияние выбросов и повышает точность модели, а оптимизация данных и сокращение диапазона освещенности (не более 600 лк, не более 400 лк и не более 300 лк) обеспечивают стабильность результатов. Научная новизна заключается в адаптации методов машинного обучения для анализа освещенности на микроуровне, что расширяет возможности автоматизированного контроля освещенности.

Ключевые слова: освещенность, сверточная нейронная сеть, машинное обучение, компьютерный анализ, автоматизация.

Введение

Контроль уровня освещенности поверхностей имеет важное значение для обеспечения безопасности и комфорта в рабочих и производственных помещениях. Традиционные методы измерения освещенности, основанные на использовании люксметров, обеспечивают высокую точность, однако для их использования требуется непосредственный доступ к объекту и много времени. Развитие методов машинного обучения и использование сверточных нейронных сетей (далее — CNN) открывают возможность автоматического определения освещенности по фотографиям, что упрощает процесс контроля и расширяет его применение [1].

Методология

Задача исследования заключается в разработке метода анализа уровня освещенности поверхности с применением компьютерных методов обработки информации. Основой исследования является использование изображений поверхности, снятых при фиксированных параметрах камеры, с последующим применением методов машинного обучения. Следует отметить, что анализ уровня освещенности по фотографиям представляет собой сложную задачу, поскольку светоотражающие характеристики поверхности, угол съемки, параметры освещения и другие факторы могут существенно влиять на визуальное восприятие яркости. В этом контексте применение машинного обучения позволяет как выявлять закономерности на основе обучающих данных, так и адаптироваться к различным условиям съемки.

Методологическая основа исследования определяется выбором CNN как инструмента анализа изображений. Данный класс моделей обладает высокой способностью к распознаванию визуальных паттернов и выделению ключевых признаков, что делает его эффективным для задач классификации и регрессии на основе изображений. Применение CNN позволяет преобразовать информацию, содержащуюся в пикселях изображения, в числовые значения, отражающие уровень освещенности. Важным аспектом является подготовка данных для обучения сети, включая их нормализацию и адаптацию

к форматам, воспринимаемым нейронной сетью, что обеспечивает возможность многократного улучшения качества модели за счёт оптимизации параметров обучения.

Ожидаемым результатом исследования является создание модели, способной точно определять уровень освещенности поверхности на основе фотографии. Практическая значимость разработки заключается в расширении возможностей анализа освещения без необходимости прямого использования специализированных приборов, что открывает перспективы автоматизированного контроля освещенности в различных условиях, включая рабочие места и производственные площадки.

Ниже представлен алгоритм решения задачи, состоящий из трех основных этапов (рис. 1).

Создание базы данных для машинного обучения в задаче анализа уровня освещенности поверхности представляет собой процесс, в рамках которого основополагающим принципом стала систематизация визуальной информации с высокой точностью эталонных значений. Данные собирались таким образом, чтобы каждая запись в базе данных обладала установленным уровнем освещенности, при этом база фото была автоматически разбита на две части: 70 % было выделено под обучающую выборку, 30 % — под тестовую. В основе лежит концепция контролируемого сбора данных, которая исключает влияние таких внешних факторов, как изменение условий съемки или настройки оборудования.

Для формирования базы данных использовался метод фотографии с фиксированными параметрами. Применялся смартфон Huawei P30 lite, настройки которого включали в себя постоянные значения экспозиции и угла съемки. Такой подход обеспечивал сохранение постоянных условий фиксации изображений, что предотвращало искажения светового потока и обеспечивало сопоставимость данных. Сохранение постоянных параметров позволило исключить влияние внешних факторов на полученные изображения, а также послужило основой корректности их последующего анализа.

Контроль качества изображений был организован до их включения в базу данных. Так, в ходе работы исключались кадры с недостаточной резкостью, нарушенной геометрией объектов и другими визуальными дефектами. Такой отбор обеспечивал использование только тех данных, которые точно отражали реальные значения освещенности. Каждое изображение было связано с соответствующим значением освещенности, что создавало надёжную основу для формирования контролируемого набора данных. Процесс разметки изображений предполагал выделение областей, в которых фиксировались эталонные значения освещенности. Такой подход способствовал тому, что модель могла автономно сосредоточиться на ключевых участках, отображающих световые характеристики, и исключать влияние фоновых объектов.

На начальном этапе проводился эксперимент с выделением области на поверхности датчика, что упрощало определение ключевых участков изображения. Программное обеспечение обеспечивало точное выде-

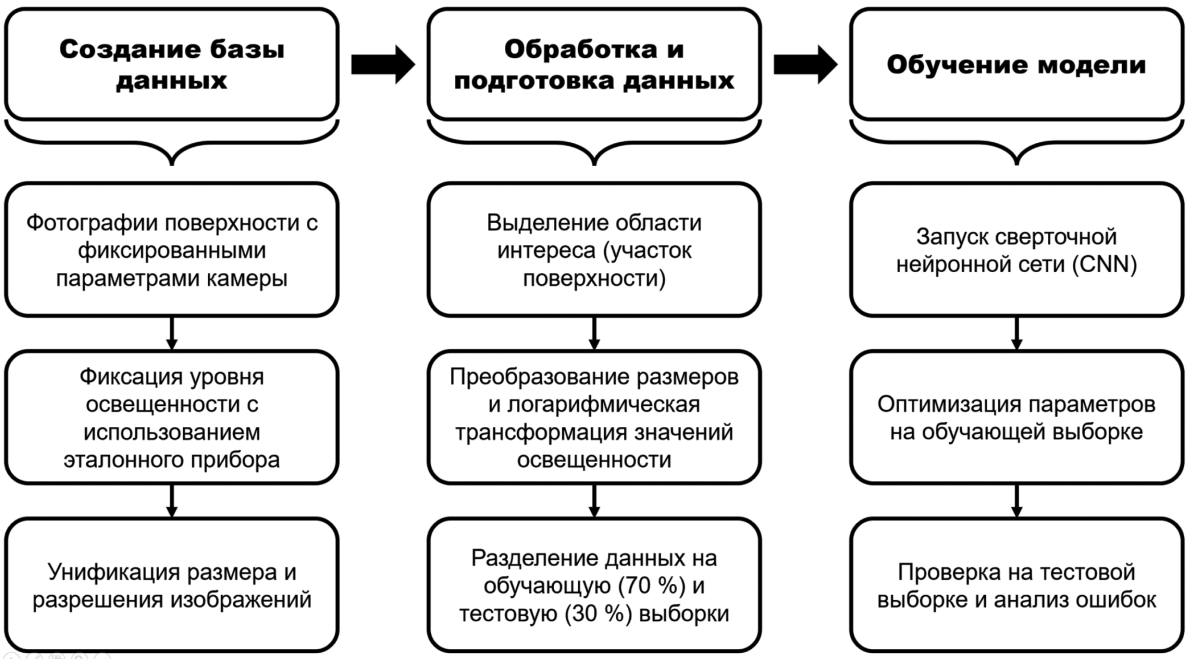


Рис. 1. Алгоритм решения задачи

Источник: составлено автором

ление областей для формирования структурированных данных с четкой привязкой к числовым значениям освещенности. Корректная разметка исключала субъективные ошибки и обеспечивала целостность данных.

Важно отметить, что оптимизация модели машинного обучения была направлена на снижение ошибок и повышение точности предсказаний.

В условиях анализа освещенности основная сложность связана с вариативностью данных, вызванной изменениями условий съемки и характеристик поверхности [7]. Логарифмическая трансформация значений освещенности позволяет стабилизировать процесс обучения и уменьшать влияние выбросов.

Основой настройки модели стал алгоритм обратного распространения ошибки, который автоматически корректирует параметры сети, что уменьшает величину ошибки. Для повышения устойчивости модели применялась нормализация данных.

CNN выбраны вследствие способности этой сети распознавать ключевые элементы изображения. Автоматическое выделение признаков сохраняет пространственные связи между пикселями, что важно для анализа освещенности, в то время как многослойная структура модели обеспечивает высокую точность. В качестве фреймворка был выбран PyTorch вследствие гибкости и возможности динамического создания вычислительных графов. Поддержка автоматического вычисления градиентов и обширная библиотека функций ускоряют процесс разработки и настройки моделей. В задаче анализа освещенности PyTorch обеспечивает быструю адаптацию и оптимизацию моделей [7].

Результаты и их обсуждение

Прежде всего, следует отметить, что в научной литературе отмечается, что на уровне промышленных объектов CNN позволяют выявлять дефекты на металлических поверхностях, а также обеспечивать высокую точность контроля качества в качестве объекта (табл. 1), однако в основном в работах используются промышленные рабочие места, тогда как на «микроуровне» (одном рабочем месте) практически нет исследований.

Анализ результатов обучения нейронной сети на полной базе данных выявил закономерности в точности предсказания уровня освещенности (рис. 2–3). Распределение ошибок на тестовой выборке показывает высокую точность при низких значениях освещенности и увеличение отклонений по мере роста уровня освещенности.

На графике прогнозируемых значений (Predicted Lux) по сравнению с реальными значениями (True Lux) сохраняется линейная зависимость, однако отклонения воз-

Таблица 1.

Обзор литературы CNN для определения уровня освещенности, в том числе на рабочих местах.

Источник	Методология	Основной вывод
[2]	Применение CNN для анализа дефектов на металлической поверхности	Метод CNN показывает высокую точность в обнаружении дефектов при контроле качества
[3]	Прогнозирование освещенности в офисных помещениях с помощью искусственной нейронной сети (ANN)	Автоматизация освещения улучшает качество освещенности и снижает затраты на электроэнергию
[4]	Контроль освещения офиса на основе нейронной сети с оптимизацией методом генетического алгоритма (GA-BP)	Система интеллектуального освещения повышает энергоэффективность и комфорт в офисе
[5]	Прогнозирование ежегодной освещенности и температуры с помощью ANN	Модель ANN снижает время моделирования освещения и температуры на 96 %
[6]	Реконструкция спектральной освещенности с использованием многочастотного спектрального датчика и CNN	CNN обеспечивает высокую точность реконструкции спектральной освещенности в реальных условиях.

Источник: составлено автором

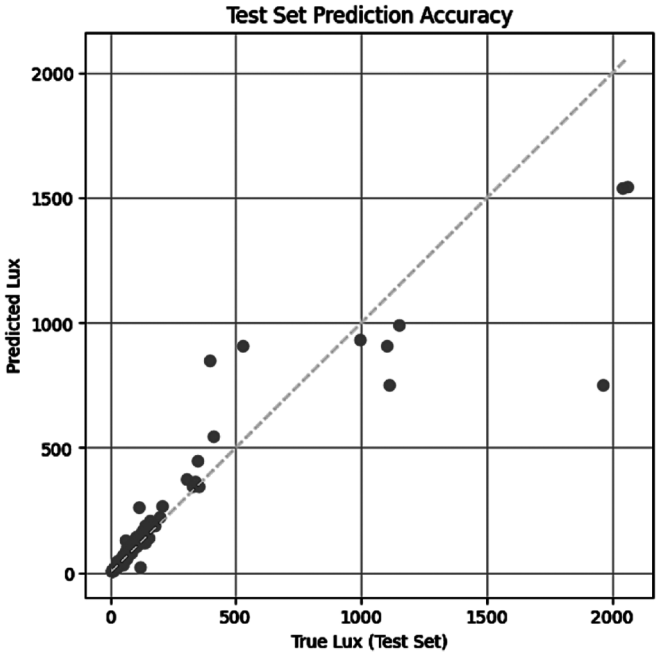


Рис. 2. Точность предсказания уровня освещенности на тестовой выборке на всей базе данных

Источник: составлено автором

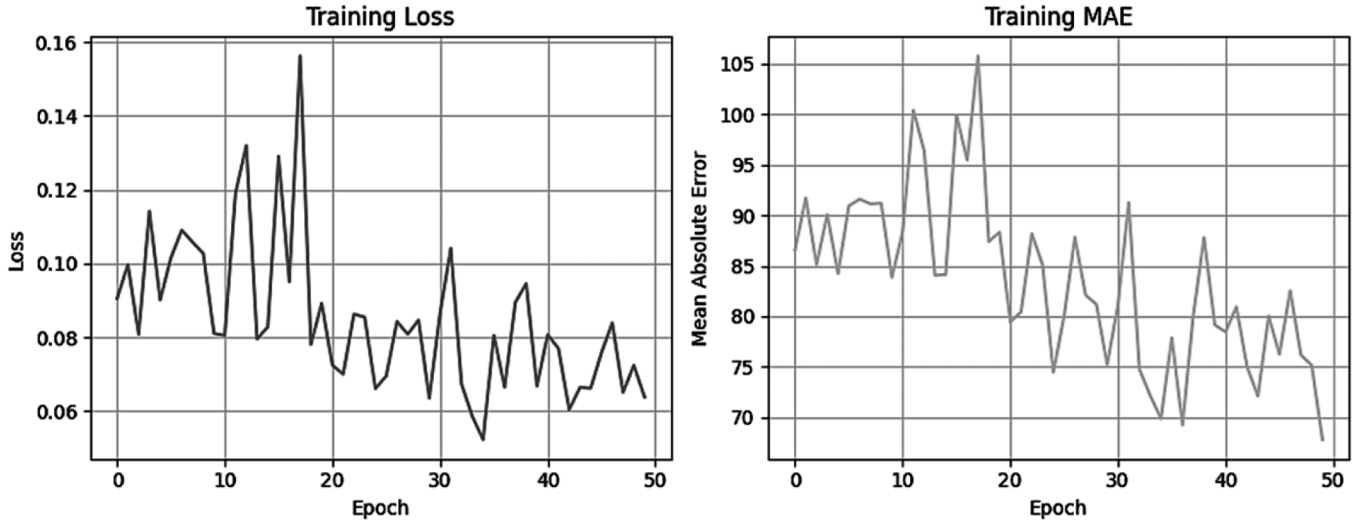


Рис. 3. Динамика ошибки обучения модели и средняя абсолютная ошибка модели на этапе обучения на всей базе данных

Источник: составлено автором

растают при превышении значений освещенности в 1000 лк. Стабилизация ошибки на этапе обучения (Training Loss) отражает постепенное снижение величины отклонений с увеличением числа эпох. Варьирование средней абсолютной ошибки (MAE) свидетельствует о колебаниях в процессе обучения, что подтверждает необходимость оптимизации модели и настройки параметров.

Однако база данных, на которой проводилось обучение, имела решающее значение, поэтому было решено убрать фото с высоким значением освещенности, т.е. меньше 700 лк (рис. 4–5).

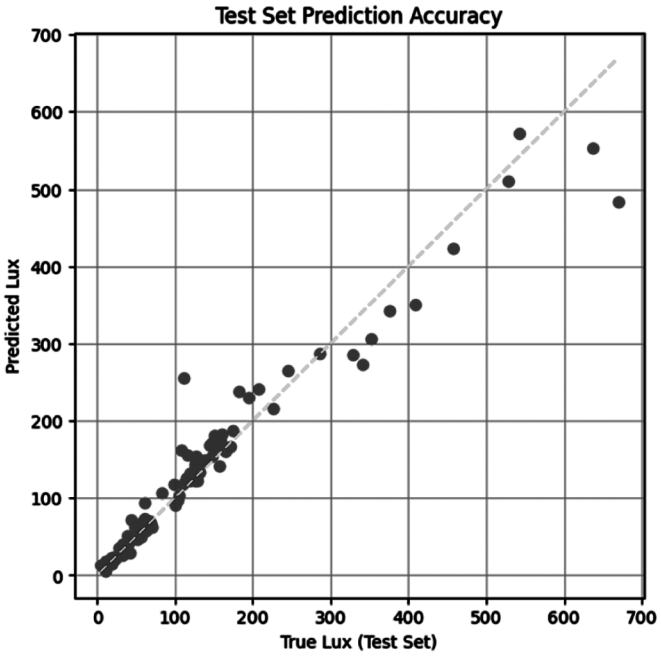


Рис. 4. Точность предсказания уровня освещенности на тестовой выборке на всей до 700 лк

Источник: составлено автором

Анализ результатов на выборке с уровнями освещенности до 700 лк показывает высокую точность модели, что подтверждается графиком, отражающим близость предсказанных значений освещенности к реальным.

Снижение диапазона данных позволило уменьшить влияние выбросов, характерных для более высоких уровней освещенности, что обеспечило улучшение общей стабильности модели.

На графике ошибки обучения и тестирования наблюдается снижение величины отклонений уже на начальных эпохах и сохранение их на стабильном уровне.

Совпадение линий ошибки на обучающей и тестовой выборках указывает на отсутствие переобучения и высокую адаптивность модели в условиях ограниченного диапазона освещенности.

Анализ результатов на выборках с ограничением уровней освещенности до 600, 400 и 300 лк соответственно (рис. 6) отражает улучшение точности модели по мере сокращения диапазона данных. Снижение верхнего предела освещенности приводит к уменьшению разброса предсказанных значений относительно реальных, что подтверждает повышение стабильности модели.

На графиках ошибки обучения и тестирования фиксируется равномерное снижение показателей с первых эпох, а схождение кривых ошибок указывает на отсутствие переобучения. Ограничение диапазона освещенности уменьшает влияние выбросов и искажений, что формирует условия для повышения точности предсказания.

Снижение диапазона значений освещенности до шестисот, четырехсот и трёхсот лк отражает зависимость точности модели от верхних пределов освещенности.

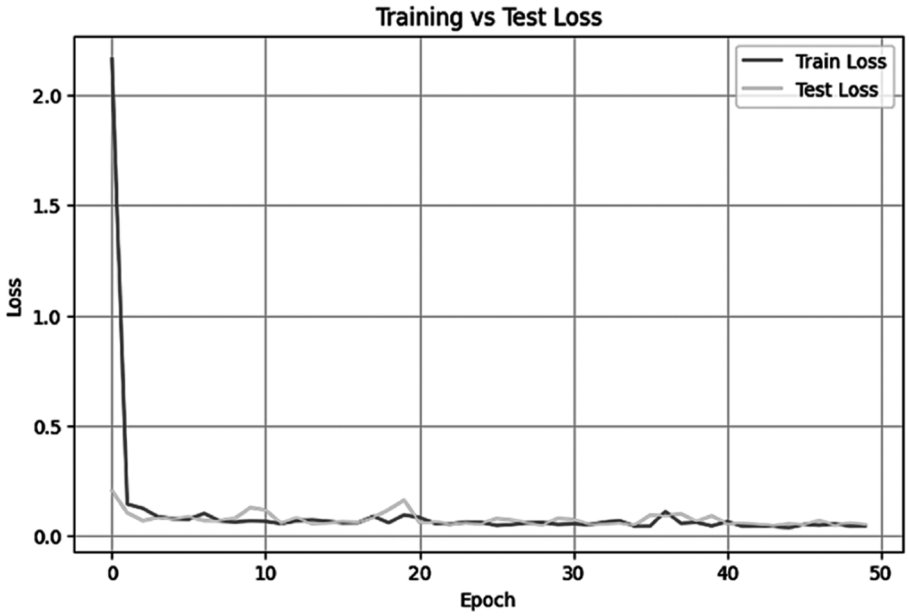


Рис. 5. Динамика ошибки обучения модели и средняя абсолютная ошибка модели на этапе обучения на выборке до 700 лк

Источник: составлено автором

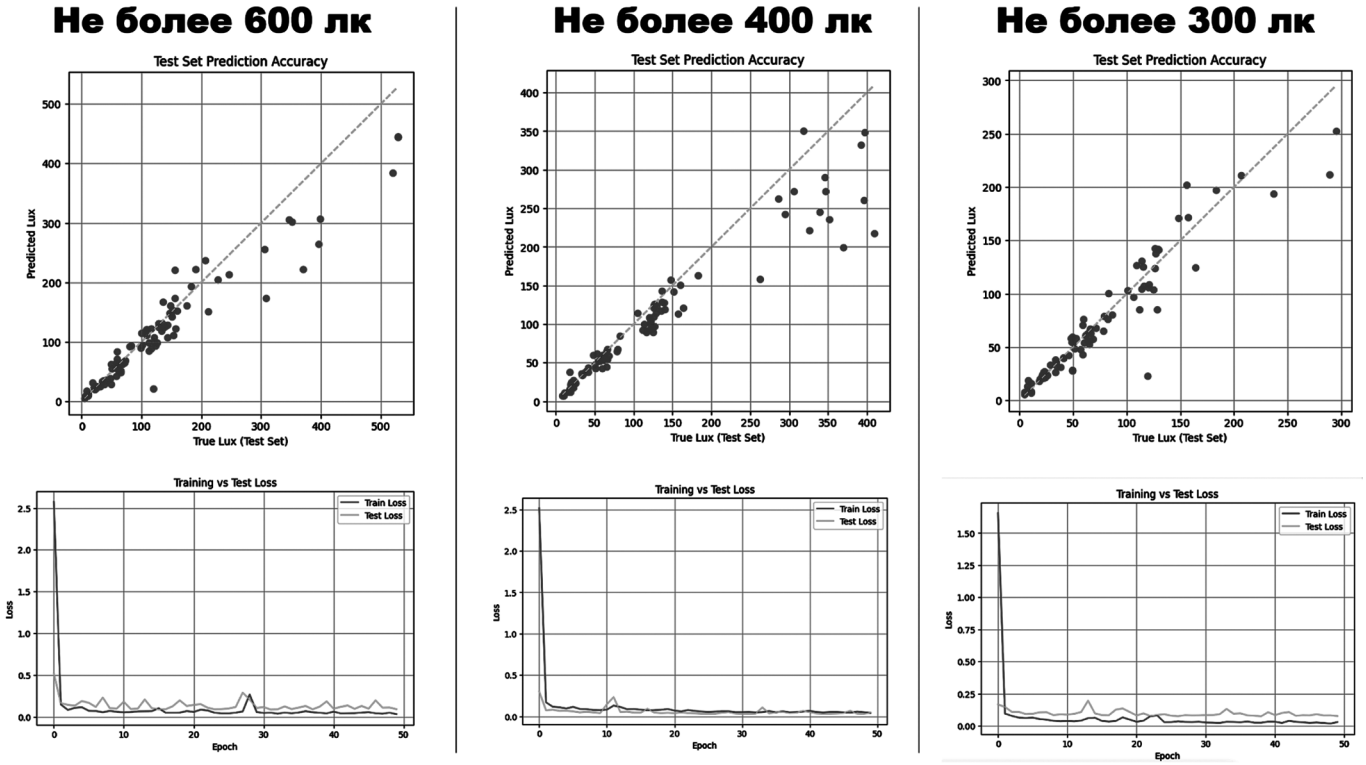


Рис. 6. Точность предсказания уровня освещенности на тестовой выборке и динамика ошибки обучения модели (выборки не более 600 лк, не более 400 лк и не более 300 лк).

Источник: составлено автором

Видно, что исключение высоких уровней уменьшает влияние выбросов и улучшает стабильность обучения нейронной сети. В условиях ограниченного диапазона корректировка данных таким образом позволяет повысить точность предсказания.

Обучение модели на основе архитектуры CNN подтверждает возможность автоматизированного определения уровня освещенности поверхности на основе анализа визуальных данных. Преобразование графической информации в числовые показатели яркости обе-

спечивает выявление закономерностей и формирование зависимостей между параметрами изображения и значениями освещенности. Функциональные возможности CNN способствуют распознаванию ключевых визуальных характеристик, что исключает необходимость ручного анализа изображений.

Высокая точность модели достигается за счёт систематизации обучающих данных и оптимизации их обработки. Фиксированные параметры съемки и предварительный контроль качества визуальных данных устраняют влияние внешних факторов, что обеспечивает стабильность результатов. Применение логарифмической трансформации уровней освещенности снижает воздействие выбросов, что упрощает процесс обучения. Нормализация данных и оптимизация параметров модели с использованием алгоритма обратного распространения ошибки способствуют повышению согласованности результатов и предотвращает переобучение.

Использование CNN в рамках анализа освещённости открывает возможности для создания систем автоматизированного контроля без применения специализированных измерительных приборов. Фиксирующие световые характеристики поверхности визуальные данные становятся основой для оценки освещенности в различных условиях. Способность модели адаптироваться к новым обучающим данным подтверждает её эффективность как средства компьютерного анализа изображений.

Научная значимость проведённого исследования связана с внедрением методов машинного обучения для анализа освещенности поверхности на основе изображений, что обеспечивает автоматизацию процесса измерения без использования люксметров или иных приборов. В отличие от традиционных подходов, когда оценка освещенности проводится вручную или с применением специализированного оборудования, модель на основе CNN интерпретирует визуальные данные и определяет уровни освещенности с высокой точностью, что расширяет возможности контроля освещения, снижает зависимость от оборудования и облегчает мониторинг световых условий.

Применение CNN позволяет автоматизировать процесс анализа освещенности в условиях, когда использование измерительных приборов ограничено. Методы машинного обучения компенсируют недостатки традиционных способов измерения освещенности. Визуальные данные в сочетании с нейронной сетью (в данном случае — CNN) формируют гибкую систему анализа световых характеристик поверхности.

Заключение

Проведённое исследование продемонстрировало, что применение CNN позволяет эффективно определять уровень освещенности поверхности на основе изображений, что открывает перспективы автоматизированного контроля световых условий без использования специализированных приборов. Создание базы данных с фиксированными параметрами съемки и её разметка обеспечили высокую точность модели, что подтвердилось на различных диапазонах освещенности. Применение логарифмической трансформации значений и оптимизация алгоритма обучения уменьшили влияние выбросов и повысили стабильность модели, что особенно заметно в диапазоне до 700 лк. Полученные результаты также подтвердили, что точность модели возрастала при сокращении диапазона освещенности, что подтверждает её пригодность для анализа освещенности на микроуровне. Разработанная модель может применяться в системах автоматического контроля освещенности офисных и производственных помещений, обеспечивать гибкость и высокую адаптивность при изменении условий освещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhu M. et al. Impact of lighting environment on human performance and prediction modeling of personal visual comfort in enclosed cabins // Science of The Total Environment. — 2024. — Vol. 927. — P. 1–13.
2. Maruschak P. et al. Surface illumination as a factor influencing the efficacy of defect recognition on a rolled metal surface using a deep neural network // Applied Sciences. — 2024. — Vol. 14. — No. 6. — P. 1–18.
3. Zekry O.S., Fekry A.A., Hamed R.E. D. Artificial Neural Network to Predict Curvature Light Shelf Design Related Daylighting Optimization on Office Spaces // Journal of Daylighting. — 2024. — Vol. 11. — No. 2. — P. 334–348.
4. Zhang R. et al. Intelligent Office Lighting Control Using Natural Light and a GA-BP Neural Network-Based System // Applied Sciences. — 2024. — Vol. 14. — No. 23. — P. 1–14.
5. Kristiansen T. et al. Predicting annual illuminance and operative temperature in residential buildings using artificial neural networks //Building and Environment. — 2022. — Vol. 217. — P. 1–14.
6. Myland P. et al. Reconstruction of spectral irradiance in a real application with a multi-channel spectral sensor using convolutional neural networks // Optics express. — 2023. — Vol. 31. — No. 16. — P. 25724–25746.
7. Chiew S.M. et al. Assessment and ANN model development of natural light transmittance of light-transmitting concrete // Results in Engineering. — 2023. — Vol. 20. — P. 1–14.

© Бурый Антон Сергеевич (buryyanton@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.12

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОВОКУПНОГО ЭФФЕКТА ПРОМО-АКЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

FORECASTING THE CUMULATIVE EFFECT OF PROMOTIONAL CAMPAIGNS USING MACHINE LEARNING METHODS

A. Bystrov

Summary. This work aims to improve the accuracy of forecasting the final promotional effect in the fast-food industry. The study proposes an innovative approach that involves isolating the sales increase driven by promotional campaigns into a separate time series and subsequently modeling this value using machine learning methods. To solve this problem, the gradient boosting algorithm (CatBoost) is employed, which effectively handles categorical and numerical features, including discount depth, promotion mechanics, product characteristics, and regional specifics. The methodology includes constructing a base forecast using exponential smoothing to estimate «non-promo» sales, followed by determining the difference between actual sales and the baseline. This difference serves as the target variable for training the model, allowing the avoidance of information loss characteristic of traditional time series models. The experimental part, based on data from 760 unique promotions, demonstrates that the proposed approach leads to an average improvement of 8 % in the 1 — WAPE metric compared to the classical approach. The results confirm the possibility of more accurate demand forecasting, contributing to optimized inventory management and enhanced operational efficiency.

Keywords: demand forecasting, promotions, gradient boosting, promotional effect, fast-food industry.

Быстров Александр Игоревич
Аспирант, ФГБОУВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», г. Москва
alexandr.jri.bystrov@yandex.ru

Аннотация. В данной работе ставится цель повышения точности прогнозирования итогового промо-эффекта в индустрии быстрого питания. Исследование предлагает инновационный подход, заключающийся в выделении прироста продаж, обусловленного промо-акциями, в отдельную временную последовательность и последующем моделировании этой величины с помощью методов машинного обучения. Для решения задачи используется алгоритм градиентного бустинга (CatBoost), который позволяет эффективно работать с категориальными и числовыми признаками, включая глубину скидки, механику акции, характеристики продукта и региональные особенности. Методология включает построение базового прогноза с использованием экспоненциального сглаживания для оценки «безпромо» продаж, а затем — определение разницы между фактическими продажами и базовой линией. Полученная разность служит целевой переменной для обучения модели, что позволяет избежать информационных потерь, характерных для традиционных моделей временных рядов. Экспериментальная часть, основанная на данных 760 уникальных акций, демонстрирует, что предложенный подход приводит к улучшению метрики 1 — WAPE в среднем на 8 % по сравнению с классическим подходом. Результаты подтверждают возможность более точного прогнозирования спроса, что способствует оптимизации управления запасами и повышению операционной эффективности.

Ключевые слова: прогнозирование спроса, промо-акции, градиентный бустинг, промо-эффект, индустрия быстрого питания.

Введение

В сфере быстрого питания (Quick Service Restaurant, QSR) промо-акции занимают центральное место в маркетинговой стратегии. Управленческая практика показывает, что мгновенный прирост объемов продаж при запуске акции может вводить в заблуждение классические модели временных рядов, так как всплески и «провалы» после акций искажают процесс обучения. Из-за этого существенно повышаются ошибки при попытке планировать выручку и объемы закупки.

Настоящая статья продолжает логику, изложенную в предыдущей работе, где было показано, что устранение промо-периодов при обучении «базового» ряда и выделение «промо-остатка» как отдельной переменной повышает точность регулярных прогнозов. Здесь производится следующий шаг: рассматривается задача прогнозирования итогового (суммарного) промо-эффекта с помощью методов машинного обучения и показывается, что подобный подход точнее, чем классическое прогнозирование ежедневных продаж с учетом промо в одном общем процессе.

В данном эксперименте участвуют 760 уникальных акций, образующие 2322 уникальные пары «акция–товар», которые проходили в течение года.

Обзор литературы и методологических подходов

В ряде работ подчеркивается, что традиционный дневной подход не позволяет четко идентифицировать вклад промо-фактора. Это осложняет оценку реальной отдачи от кампании и корректное планирование запасов. Между тем, по мере проникновения машинных методов (Random Forest, градиентный бустинг и др.) в эко-

номические задачи, становится возможным отдельно моделировать эффект акции, что дает более высокую точность и гибкость.

В частности, описано, что машинное обучение (ML) в экономике имеет свою специфику (проблемы вычислительной эффективности, переобучения), но при корректном учете показателей оптимизации дает серьезные преимущества [1], а также находит все более широкое применение в разных отраслях [2]. Отмечается растущая востребованность ML-алгоритмов в цифровом ритейле и сфере быстрого питания [3]. Подобную эффективность градиентного бустинга при наличии расширенного набора факторов отмечали, в частности, при разработке маркетинговой стратегии российских розничных сетей [4].

Материалы и методы исследования

Сущность задачи и анализ признаков

Основная идея — выделить прирост продаж, обусловленный акцией, как отдельную целевую переменную. Если имеется «baseline»-прогноз (полученный, например, методом экспоненциального сглаживания без учета промо-дней), то можно вычислить (fact — baseline) и строить по этим значениям самостоятельную модель ML. При наличии детальных сведений о продукте, глубине скидки, механике акции (Discount, Set, Pairs, Coupon и т.д.), а также о канале реализации, региональной специфике и прочем, можно научить модель предсказывать итоговое отклонение от базовых продаж. Благодаря богатому набору признаков (features) градиентный бустинг на деревьях способен улавливать сложные нелинейные зависимости, которые неочевидны в традиционных авторегрессионных моделях временных рядов. Стоит отметить, что по сравнению с классическими предсказаниями по дням можно напрямую учитывать влияние каждой акции на товар, рассматривая ее как отдельную строку в обучающем наборе. В классической же схеме при одновременном действии нескольких акций на один и тот же товар приходится строить агрегированные признаки, несущие потерю в информации для модели.

Опираясь на сведения, собранные в процессе исторических промо-кампаний, было выделено несколько ключевых групп факторов:

- Ценовые факторы, включая абсолютную и процентную разницу между обычной и промо-стоимостью, а также совокупную стоимость набора (Set, где итоговая цена ниже суммы одиночных позиций).
- Характеристики продукта, которые учитывают группировку по ABC-категориям, тип продукта и его роль в меню.
- Сведения о продолжительности промо и механике акции (прямая скидка, купон на несколько товаров, программа «2+1», «подарочный» продукт и т.п.), а также возможность комбинировать несколько акций одновременно.
- Региональные и сезонные признаки, связанные с локацией ресторана (город, проходимость, расположение вблизи ТРЦ), временем года, праздничными периодами и т.д.

В имеющемся наборе механик преобладают прямые скидки, сеты и «пары». При этом для каждой механики важно корректно рассчитывать совокупную стоимость: если в случае прямых скидок цена уменьшается на заданную величину сразу, то при использовании сетов или «пар» итоговая скидка распределяется косвенно (через общую стоимость набора), что усложняет расчеты.

Для решения задачи применим алгоритм CatBoost — градиентный бустинг на деревьях, который хорошо работает с категориальными признаками и разнородными данными. Подобную эффективность CatBoost, особенно при наличии дополнительного набора факторов, отмечали и в сфере рекомендательных систем e-commerce [4].

На рисунке 1 показано распределение вкладов (SHAP values) ключевых факторов, влияющих на итоговый промо-эффект. Горизонтальная ось отражает относительную силу влияния каждого признака (слева направо: отрицательный вклад, справа налево: положительный вклад), а вертикальный список перечисляет факторы, сгруппированные по возрастанию или убыванию средней значимости. Каждая точка на диаграмме соответствует одной акции (или наблюдению) в выборке: насыщенность цвета (от фиолетового к красному) указывает на величину самого фактора. Анализ рисунка показывает, что самым существенным драйвером промо-эффекта для исследуемых данных являются pmix_price и std_before_promo: при высоких значениях этих признаков вклад в увеличение эффекта выражен сильнее (наблюдается облако точек справа от центральной вертикальной линии).

Заметим также значительную важность признаков, характеризующих промо-механику (например, mechanics_name) и тип продукта (product_group). Наличие разнонаправленного рассеяния точек указывает на то, что вклад большинства факторов зависит не только от их абсолютного значения, но и от взаимодействия с другими признаками (особенно с mean_last_14_days и std_last_14_days), что подтверждает целесообразность использования машинных методов (градиентного бустинга) вместо упрощенных линейных регрессий.

Дополнительно видно, что такие признаки, как percent_discount или absolute_discount, не всегда играют доминирующую роль при краткосрочных акциях (об этом говорит более низкая плотность «теплых» точек), однако при определенных условиях они могут су-

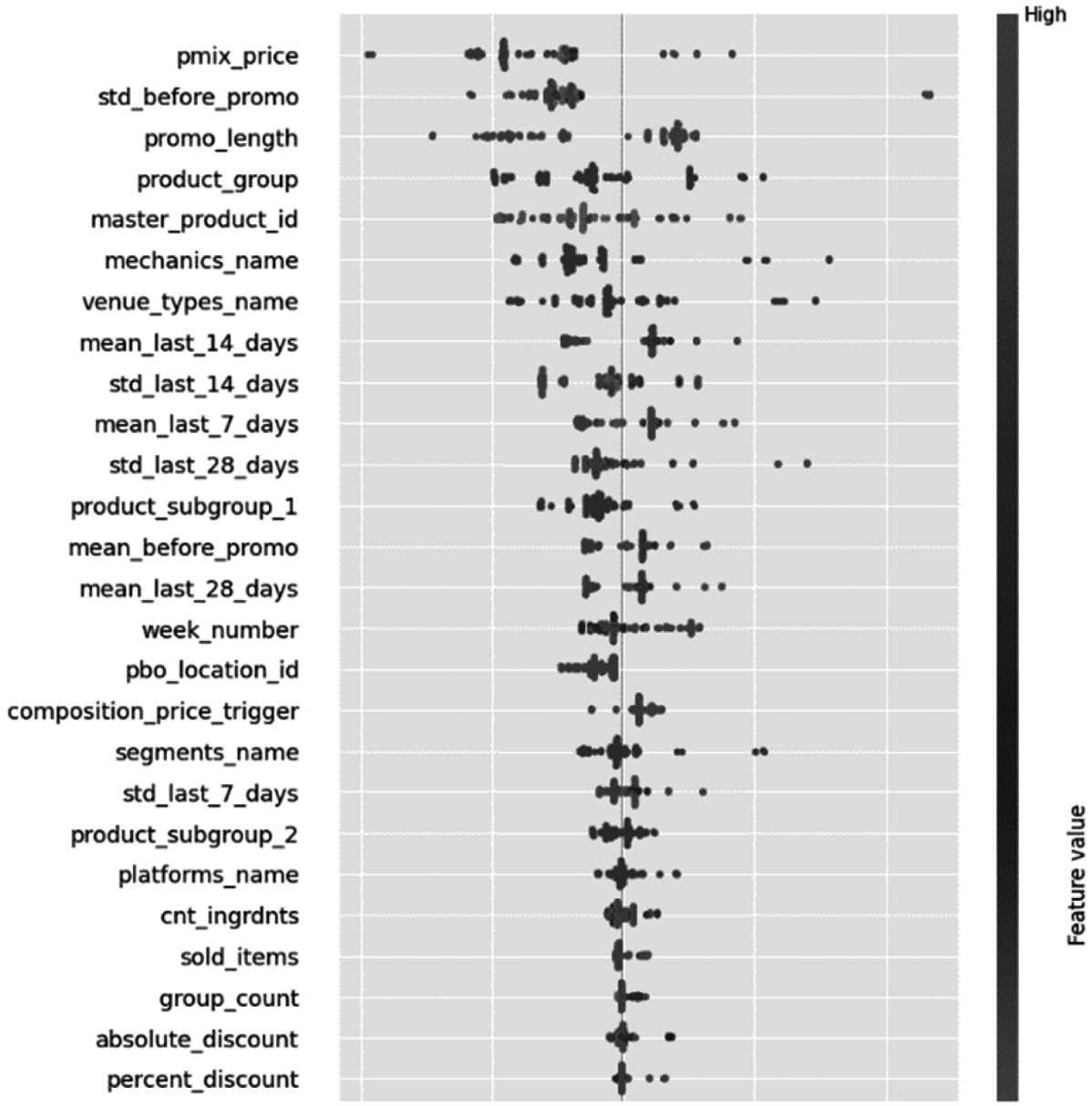


Рис. 1. Распределение вкладов (SHAP values) ключевых факторов, влияющих на итоговый промо-эффект

щественно повышать итоговый промо-эффект. Это согласуется с гипотезой о важности скидочных механик, но в то же время подчеркивает, что для полного объяснения поведения продаж необходимо учитывать и другие факторы — конкурентное окружение, сезонные колебания, исходные объемы продаж и т. д.

Методика и экспериментальная часть

Для обучения модели было сформировано множество записей вида «(акция, ресторан, продукт) → прирост». В каждой записи фиксировались целевая переменная (итоговый объем продаж, превышающий базовую линию) и набор факторов (признаки, описанные выше). Базовую линию (продажи без акции) получали, удаляя промо-периоды из обучающего ряда и используя методы экспоненциального сглаживания по аналогии с предыдущей работой. Исторический фактический промо-эффект (прирост) определялся как разница между реальными продажами и данным базовым прогнозом.

Для валидации и тестирования данные разделялись таким образом, чтобы на тест не попадали фрагменты одной и той же акции (дабы исключить утечку информации). Настройка гиперпараметров CatBoost (глубина деревьев 6, количество итераций 2000, learning_rate=0.005) осуществлялась перебором по сетке. Как показывают кейсы российских розничных сетей [4], точная подстройка ML-моделей по специальной гиперпараметрической сетке дает максимальный прирост точности и минимизирует риск «недопрогноза», критичного в периоды всплеска.

Сравнение велось по двум ключевым сценариям. В первом («Baseline») применялся стандартный градиентный бустинг, где сведения о проводимых акциях учитывались через набор бинарных переменных, а прогноз строился на подневной основе — полностью для каждого дня недели. Во втором («Proposed») в модель вводились расширенные экзогенные факторы (такие как механика акции, глубина скидки и т. д.), а само обучение велось непосредственно на итоговом приросте (промо-эффекте).

Для оценки качества прогноза использовался показатель 1 — Weighted Absolute Percentage Error (WAPE). Данная имплементация (1-WAPE) обусловленна более доходчивым пониманием для бизнеса, четко показывая, что «чем больше — тем лучше». Данная метрика наиболее уместна при большом ассортименте, в котором одни товары продаются в тысячах единиц, а другие — в считаных десятках, причем стоимость товаров может незначительно отличаться. «Взвешенная» формула WAPE компенсирует различие масштабов продаж и позволяет корректнее сравнивать ошибки между позициями.

На основе одного исходного массива сформировали два датасета для обучения: первый (Baseline) представляет продажи в разрезе дней, тогда как второй (Proposed) строится сразу для итогового эффекта каждой акции. Хотя физический смысл многих признаков совпадает, в дневном подходе (Baseline) при параллельном проведении нескольких акций приходится использовать набор бинарных переменных, что усложняет структуру. В новом решении (Proposed) каждая акция считается отдельной сущностью, а пересечения нескольких промо в один день не вызывают конфликта признаков.

Тестовый период охватывает последние восемь недель датасета. В результате появились два обучающих набора: один для подневной модели (Baseline), второй для итогового эффекта (Proposed). Несмотря на схожий набор фичей, в первом случае (Baseline) пришлось вводить дополнительные бинарные столбцы, если в один день действовали несколько механик, тогда как во втором случае данная проблема решается архитектурно за счет акционной структуры.

Ниже приведена сводная таблица, демонстрирующая качество прогноза (в терминах 1 — WAPE, чем ближе к единице, тем лучше) для различных категорий товаров (A, B, C) в двух локациях.

Таблица 1.
Качество прогноза для различных категорий товаров

Группа / Локация	Локация 1 (New → Baseline)	Локация 2 (New → Baseline)
A	72.3 % → 67.2 %	76.1 % → 70.0 %
B	74.2 % → 65.1 %	75.9 % → 68.1 %
C	64.0 % → 51.5 %	62.7 % → 52.7 %

Здесь товары разделены по перцентилям объема продаж следующим образом: группа A включает наиболее продаваемые позиции (выше 60-го перцентиля), группа B — позиции со средними объемами (от 30-го до 60-го перцентиля), а группа C — наименее продаваемые (ниже 30-го перцентиля). Видно, что «Proposed» решение улучшает метрику (1 — WAPE) практически во всех сочетаниях «Группа–Локация». У товаров группы C разница становится особенно заметной, так как ошибка в Baseline более подвержена резким колебаниям.

Суммарный показатель 1-WAPE для нового подхода оказался равен 72.44, в то время как у традиционного решения — 64.28. Такая разница свидетельствует о существенном преимуществе предлагаемого подхода при прогнозировании промо-эффекта.

Результаты и обсуждение

Эксперименты на данных сети быстрого питания продемонстрировали, что модель машинного обучения, работающая напрямую с выделенным промо-эффектом, в среднем улучшает точность прогноза (по WAPE) на 8% по сравнению с базовыми методами. Особенно заметной оказалась разница в случае сложных механик (например, «сеты»), где классические схемы ежедневно прогнозировали продажи, не учитывая взаимодействия между SKU. Градиентный бустинг же улавливает эти взаимодействия, используя факторы «состав набора», «соотношение цен» и т.п.

Отдельно следует отметить, что совмещение прогноза «базового» объема и «промо-эффекта» потенциально может приводить к некоторому завышению общего прогноза. Однако в условиях, когда «недопрогноз» хуже для бизнеса (вызывает дефицит продукта и недополученную прибыль), подобный сдвиг вверх оказывается оправданным: дополнительная подстраховка по запасам менее критична, чем риск потерь при неожиданном всплеске спроса. Для дополнительной иллюстрации на рисунке 2 приведены ящичные диаграммы (boxplots) ошибок прогнозов в новом и старом подходах, где четко видно, что медиана и верхние квартили распределения ошибок в новом решении (слева) оказываются заметно выше (ближе к нулю), чем в базовом сценарии (справа), где гораздо выше доля отрицательной ошибки.

Таким образом, можно заключить, что предложенный подход позволяет более точно оценивать планируемый суммарный спрос на период акции еще до ее запуска, что дает бизнесу возможность разумнее формировать запасы и управлять персоналом.

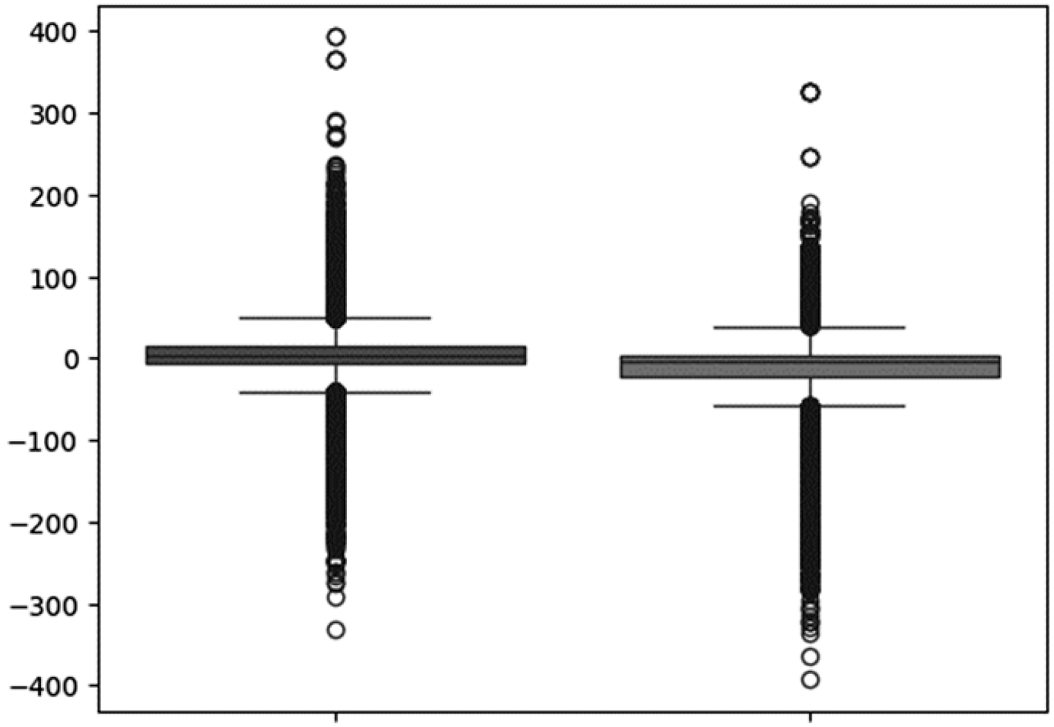


Рис. 2. Boxplot-анализ распределения ошибки прогнозов нового и старого подхода

Заключение

В настоящем исследовании показано, что выделение промо-эффекта из исторического ряда продаж в отдельную временную структуру и его последующее моделирование методами машинного обучения повышает точность прогнозирования. Алгоритмы градиентного бустинга, учитывая многомерные факторные признаки, эффективнее предсказывают итоговый прирост, чем классические модели, пытающиеся работать с промо в рамках единого временного ряда. Подтверждение получено на реальных данных сети ресторанов быстрого питания.

В перспективе целесообразно изучить экономический эффект от такого подхода (например, сокращение недопроданных или, напротив, избыточных запасов) и рассмотреть способы более тонкого распределения промо-эффекта по датам акции, включая учет внешних факторов конкуренции и применение гибридных моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ледовская Е.В. Методы машинного обучения для оптимизации экономических задач // Научный аспект. 2024. Т. 46. № 6. С. 5804–5820.
2. Парфенов П.А., Тимофеева А.А., Сологуб Г.Б., Алексейчук А.С. Прогнозирование покупки товара, показанного клиенту рекомендательной системой // Моделирование и анализ данных. 2020. Т. 10. № 4. С. 17–30.
3. Парамонов Е.С., Иванцов К.А., Мирончук В.А. Исследование востребованности применения методов машинного обучения в цифровой экономике // Beneficium. 2024. № 1 (50). С. 22–30.
4. Михайлов Д.В. Анализ практики применения алгоритмов машинного обучения в российских розничных сетях для развития операционной деятельности и разработки маркетинговой стратегии предприятия // Fundamental and applied approaches to solving scientific problems: сб. науч. ст. Уфа: НИЦ «Вестник науки», 2023. С. 122–141.

© Быстров Александр Игоревич (alexandr.jri.bystrov@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.13

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ B-TREE ИНДЕКСОВ В ПОСТРЕЛЯЦИОННЫХ БАЗАХ ДАННЫХ НА ПРИМЕРАХ POSTGRESQL И MONGODB

THE EFFECTIVENESS OF THE PRINCIPLES OF ADAPTIVE LAYOUT IN THE DEVELOPMENT OF USER INTERFACES

M. Vinogradova
B. Goryachkin
L. Litvinovich

Summary. *Problem statement*. Reducing the execution time of complex database queries becomes an urgent problem when working with tables and collections with many records [1–4, 9–17]. During the operation of information systems, the load on database management systems increases. Server performance in multiuser mode does not meet user expectations. This problem is found in all information systems that work with big data. When solving the problem, companies use tools such as vertical and horizontal scaling or query optimization. Vertical and horizontal scaling is significantly more expensive compared to optimizing database queries. Query optimization in multiuser mode involves fragmentation, analysis, and tracking the execution time of all queries [16]. Thus, correcting the situation of a long wait for a response for complex queries to tables and collections with many records requires a lot of material and time costs for companies. It is necessary to optimize the execution of complex database queries, helping companies create a database of their queries that will be completed in an acceptable time.
Results. The existing units of measurement are considered. It is determined how and why they are used in web design. The types of units of measurement are studied: absolute and relative, their differences and areas of applicability are indicated. The principles of adaptive layout are highlighted, as well as the tasks for solving which the principles of adaptive layout and the units of measurement considered were used.
Practical significance. The practical significance lies in reducing the execution time of such requests to a level below the time of visual perception by a human operator.

Keywords: information model, query optimizer, B-tree, composite indexes, covering indexes, selectivity, query ergonomics, query ergonomics.

Виноградова Мария Валерьевна
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
vinogradova.m.iu5@yandex.ru
Горячкин Борис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
bsgor@mail.ru
Литвинович Людмила Валентиновна
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
89167429943@mail.ru

Аннотация. *Постановка проблемы*. Снижение времени выполнения сложных запросов к базам данных становится актуальной проблемой при работе с таблицами и коллекциями с большим количеством записей [1-4, 9–17]. В процессе работы информационных систем нагрузка на системы управления базами данных возрастает. Производительность серверов при многопользовательском режиме не соответствует ожиданиям пользователей. Эта проблема встречается во всех информационных системах, которые работают с большими данными. При решении проблемы компании используют такие средства, как вертикальное и горизонтальное масштабирование или оптимизацию запросов. Вертикальное и горизонтальное масштабирование значительно дороже по сравнению с оптимизацией запросов к базам данных. Оптимизация запросов при многопользовательском режиме предусматривает фрагментацию, анализирование и отслеживание времени выполнения всех запросов [16]. Таким образом, исправление ситуации долгого ожидания ответа при сложных запросах к таблицам и коллекциям с большим количеством записей требует больших материальных и временных затрат для компаний. Необходимо оптимизировать выполнение сложных запросов к базам данных, помогая компаниям создавать базу своих запросов, которые будут выполняться за приемлемое время.
Результаты. Мы выбрали задачу оптимизации сложных запросов к базе данных, помогая компаниям создавать базу своих запросов, которые будут выполняться за определённое время. Время выполнения сложных запросов в нашем исследовании не превысило времени первых трёх фаз восприятия человеком зрительной информации. Таким образом, мы достигли успеха в своём исследовании.
Практическая значимость. Практическая значимость заключается в снижении времени выполнения таких запросов до уровня ниже времени зрительного восприятия человеком-оператором.

Ключевые слова: информационная модель, оптимизатор запросов, B-tree, составные индексы, покрывающие индексы, селективность, эргономичность запроса, эргономические показатели запроса.

Введение

Проблеме скорости выполнения SQL-запросов посвящены работы ряда авторов [1-4, 9–16]. На время выполнения запросов влияет множество факторов: индексы, объем данных, выбор плана выполнения запроса оптимизатором, текущая нагрузка на базу данных, задержки на уровне сети.

Необходимость оптимизации запросов заключается также в снижении нагрузки на СУБД. От структуры составленного запроса зависит, какое количество вычислительных ресурсов (оперативная память, процессорное время) будет использоваться. В данной работе разрабатываются информационные модели сложных поисковых запросов с B-tree индексами на примерах PostgreSQL и MongoDB. В соответствии с контекстом данных онлайн научной библиотеки предполагалось использование документо-ориентированной MongoDB. Выбор PostgreSQL объясняется лидерством этой СУБД перед другими при запросах к большим данным на чтение [3]. В обеих СУБД используется B-tree структура данных, в MongoDB используется B+tree. Данный факт также учитывался при выборе MongoDB в нашем эксперименте. Структура данных обеих СУБД позволяет использовать запросы с B-tree индексами. Запросы с B-tree индексами по умолчанию возвращают упорядоченные данные. Это значительно сокращает время выполнения запросов. Поэтому, мы выбрали исследование сложных запросов с применением B-tree индексов.

В статье применяются сокращения и обозначения.

— Информационная модель — совокупность информации, характеризующая существенные свойства и состояния объекта, процесса, явления, а также взаимосвязь с внешним миром.
— Оптимизатор запросов — выбор данных из базы, движок СУБД, который пытается наилучшим (наиболее быстрым, менее затратным) образом использовать ресурсы. В качестве результата оптимизатор выдает «План выполнения запроса».
— B-tree — это структура данных, которая предоставляет отсортированные данные и позволяет выполнять поиск, последовательный доступ, вложения и удаления в отсортированном порядке. B-tree обладает высокой способностью хранить системы, которые записывают большие блоки данных. B-tree упрощает двоичное дерево поиска, допуская узлы с более чем двумя дочерними элементами; одна метастраница хранится в фиксированной позиции в начале первого сегментного файла индекса, все остальные страницы являются либо конечными страницами, либо внутренними страницами.
— Составные индексы — индексы в MongoDB, которые состоят из нескольких полей; порядок полей в составном индексе имеет значение, например, если составной индекс состоит из {author: 1, name : -1 }, индекс сортируется сначала по полю author и потом в пределах поля author по поля name.
— Покрывающие индексы — индексы, в выражении которых присутствуют все поля, используемые в запросе. Оптимизатору не надо обращаться к таблице в памяти, он получает информацию из таблицы индекса;
— Селективность — количество строк в таблице, удовлетворяющих запросу, относительно к общему количеству строк в наборе; чем меньше строк для поиска, тем выше селективность.
— Эргономичность запроса — время выполнения запроса (производительность СУБД). При запросах к большим данным выбор оптимизатором плана сканирования индекса имеет огромное значение потому, что отображается во времени ожидания ответа для пользователя. Создание условий, в которых человек может работать комфортно и эффективно относится к области знаний эргономики, поэтому под эргономичностью запроса мы будем понимать время его выполнения.
— Эргономические показатели запроса — селективность полей в индексе B-tree, учет NULL значений в полях индекса B-tree, покрывающие индексы B-tree.
— Человек-оператор — человек, осуществляющий трудовую деятельность, основу которой составляет взаимодействие с объектом воздействия, машиной и средой на рабочем месте при использовании информационной модели и органов управления [1].
— Суперкласс — это компоненты наследования данных, в которых определенные атрибуты и характеристики сущности наследуются от родительского объекта к дочерним объектам или сущностям.
— СУБД — система управления базами данных.

Методика и организация исследования

Модель наших запросов с использованием B-tree индексов предполагает выполнение определённых условий оптимизации. В этом исследовании изучались условия оптимизации сложных запросов к базе данных. Исследование проводилось на запросах к PostgreSQL и MongoDB. Особенности архитектуры PostgreSQL и MongoDB определили разный подход в изучении оптимизации сложных запросов к базам данных с большим количеством записей. Репликации и шардирование позволяют MongoDB использовать дополнительную оперативную память в многопользовательском режиме работы. Подсистема хранения данных WiredTiger обеспечивает оптимальное использование оперативной памяти и сокращает количество обращений к файловой

системе. Мы исключили шардирование для чистоты исследования времени работы WiredTiger, времени выполнения одиночных сложных запросов и времени выполнения этих же запросов в серии запросов в MongoDB. Особенности структуры данных, B-tree в PostgreSQL и B+tree в MongoDB, позволили провести сравнительное исследование запросов с применением B-tree индексов в сложных запросах в обеих СУБД.

В PostgreSQL используется структура данных B-tree. В PostgreSQL файлы данных разбиваются на сегменты размером сегмента 1 ГБ. Данные хранятся на страницах фиксированного размера 8 КБ. Для каждой строки в PostgreSQL создаётся внутренний идентификатор. Первая цифра в идентификаторе — это номер страницы, а вторая — номер кортежа. Данные представляют строки, для доступа к ним используются ссылки. Ссылки содержат логическое смещение на странице. В отдельной области хранятся индексы и ссылки на соседние узлы в B-tree.

Вместо таблиц MongoDB использует коллекции, где хранятся документы; MongoDB хранит данные в виде JSON-документов с различным уровнем глубины, кодируя их в бинарном формате BSON. У документов в коллекции может различаться набор полей и их типы данных. Запросы к документам с вложенными полями считаются сложными запросами. В MongoDB используется структура данных B+tree. При создании документа в MongoDB создаётся идентификатор объекта. Его 12-байтовая формула ObjectId включает в себя 4-байтовую отметку времени создания, 3-байтовый машинный идентификатор, 2 обработанных байта и 3-байтовый счётчик, начинающийся со случайного значения. Индексы в MongoDB занимают много памяти и затратны при считывании.

На рисунке 1 представлены структуры даных B-tree и B+tree.

На рисунке 1 (справа) изображён процесс сегментирования для дальнейшего шардирования и горизонтального масштабирования MongoDB. В отличие от B-tree внутренние узлы в индексе B+tree не имеют ссылок на страницы документа, но содержат только ссылки на соседние узлы и на узлы уровнем ниже; только листовые узлы B+tree имеют информацию страниц документа. Такая особенность и позволяет сегментировать данные без потерь. Для оптимизации работы в оперативной памяти в MongoDB разработана подсистема хранения данных WiredTiger. WiredTiger хранит данные таблицы в памяти, используя структуру данных B+tree, ссылаясь на узлы B+tree как на страницы. Также поддерживается сжатие для всех коллекций и индексов. WiredTiger кэширует часть таблицы, к которой в данный момент обращается приложение для чтения или записи в основной памяти. Таким образом, сокращает число обращений к диску.

В качестве изучаемых критериев оптимизации сложных запросов к таблицам и коллекциям с большим количеством записей были выбраны:

— селективность,
— фильтрация NULL-значений в запросе,
— покрытие условия запроса,
— серийность сложных запросов

Изучение функций метода доступа к индексу B-tree в документации PostgresPro [5-8], а также результаты нашего исследования, позволили нам определить факторы, влияющие на стоимость доступа к таблице индексов в PostgreSQL в информационную модель, представленную на рисунке 2.

Изучение функций метода доступа к индексу B+tree в документации MongoDB [15,16,17], а также результаты нашего исследования, позволили нам определить фак-

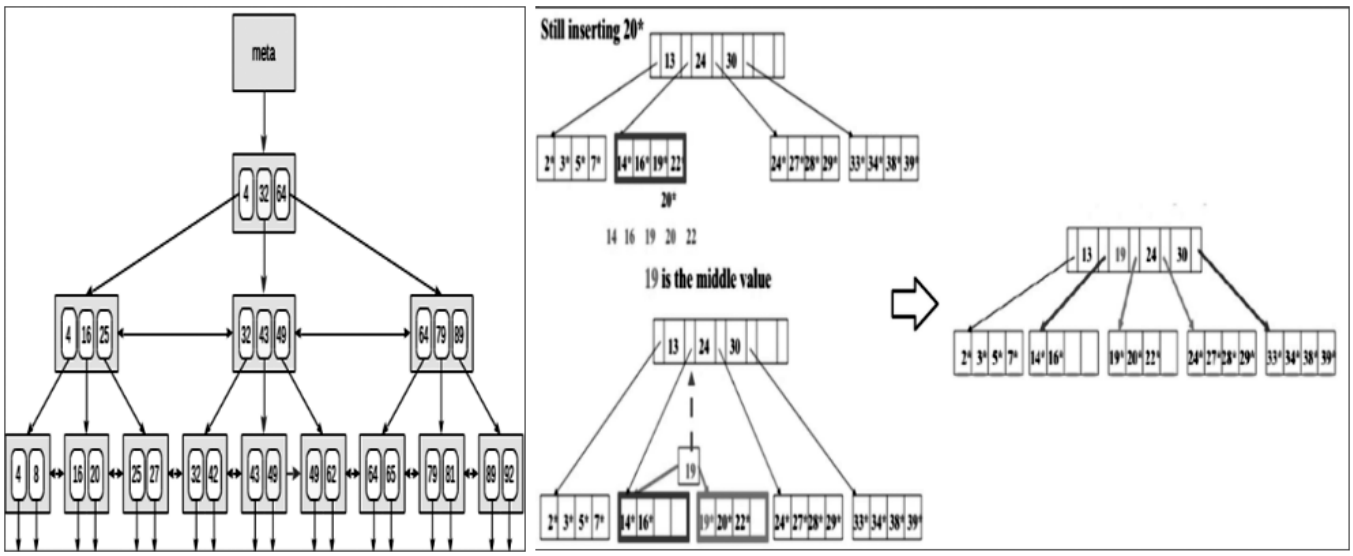


Рис. 1. Сруктуры данных B-tree(слева) и B+tree(справа)

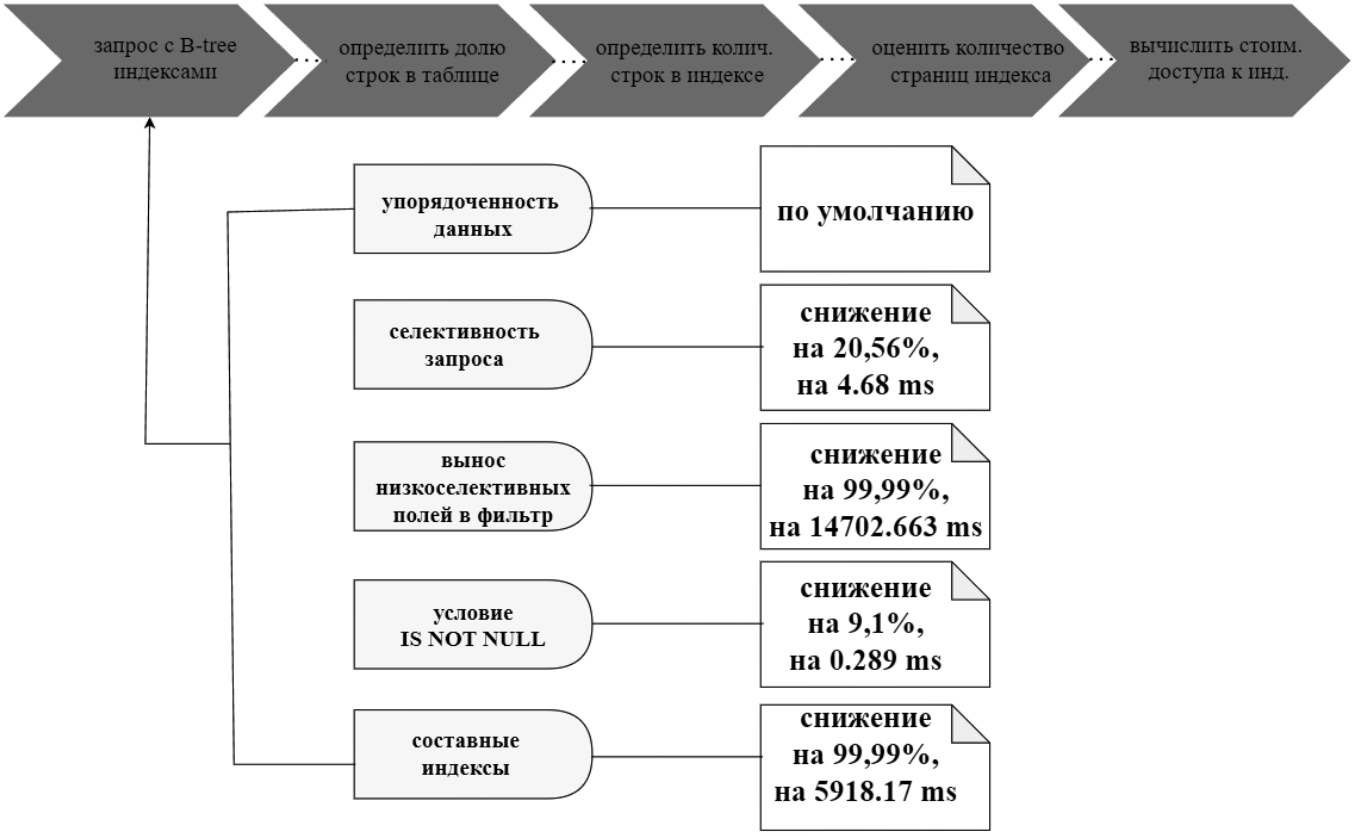


Рис. 2. Информационная модель стоимость доступа к таблице индексов в PostgreSQL

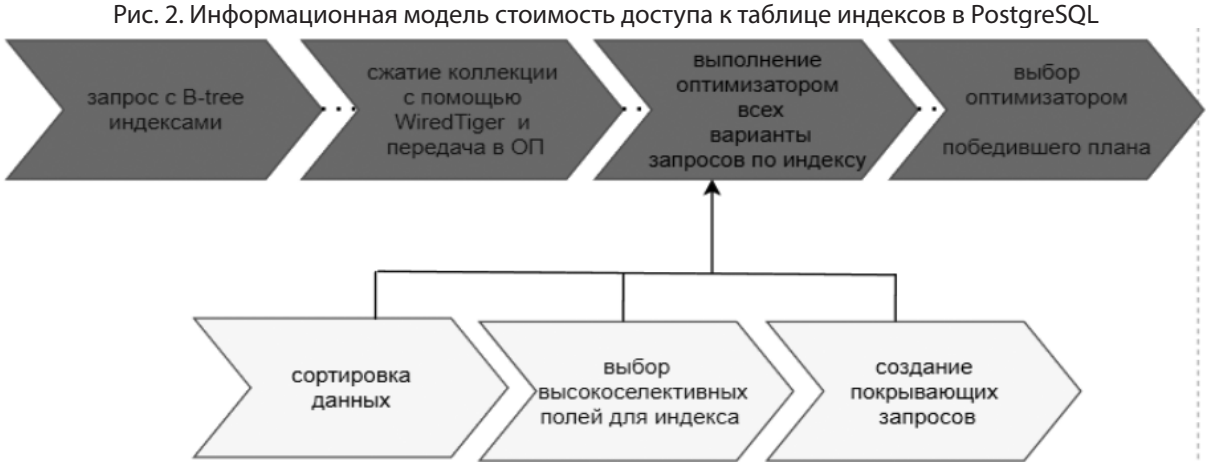


Рис. 3. Информационная модель доступа к индексам и к коллекции

торы, влияющие на стоимость доступа к таблице индексов в MongoDB. На рисунке 3 представлена информационная модель для MongoDB. Для запросов в MongoDB мы не рассматривали горизонтальное масштабирование для чистоты эксперимента и исключения влияния факторов распараллеливания запросов на время выполнения запроса. Поэтому в информационной модели для MongoDB будет рассматриваться только запрос на одном компьютере.

Из этапов в информационной модели расчёта стоимости доступа к индексу предлагается формула расчёта времени выполнения сложного запроса с использованием индекса B-tree в PostgreSQL:

$$T_{req_index} = t_{plan} + (t_{index_read} + t_{check_ref}) * n + [t_{inp_oup} + t_{system}] \quad (1),$$

где T_{req_index} — время чтения коллекции,

t_{plan} — время работы планировщика,

t_{index_read} — время чтения таблиц индекса,

t_{check_ref} — время чтения таблицы

t_{inp_oup} — время на операции ввода/вывода,

t_{system} — время, зависящее от пропускной способности системы,

n — число соединённых таблиц.

Из этапов в информационной модели расчёта стоимости доступа к индексу предлагается формула расчёта

времени выполнения сложного запроса с использованием индекса B+tree в MongoDB:

$$T_{req_index} = t_{WT} + t_{plan} + (t_{index_read} + t_{check_ref}) * n + \\ +[t_{inp_oup} + t_{system}] \quad (1),$$

где T_{req_index} — время чтения коллекции,
t_{WT} — время работы Wired Tiger,
t_{plan} — время работы планировщика,
t_{index_read} — время чтения индекса,
t_{check_ref} — время чтения документа в коллекции
t_{inp_oup} — время на операции ввода/вывода,
t_{system} — время, зависящее от пропускной способности системы

Методы и алгоритмы

В нашем исследовании для получения информации о длительности этапов запроса, об объёме данных, обрабатываемых операторами, о назначении планировщиком параллельных процессов чтения использовались методы анализа запросов. Для получения информации о свободном объёме оперативной памяти использовался метод просмотра диспетчера задач. Для получения информации об объёме памяти, который занимает таблица, применяли метод взвешивания таблиц.

В результате эксперимента был проведён анализ планов выполнения запросов в обеих СУБД, построены логические схемы выбора оптимизатором плана выполнения запроса с B-tree индексами в PostgreSQL и MongoDB. На рисунке 4 представлена логическая схема выбора оптимизатором плана выполнения запроса с B-tree индексами в PostgreSQL.

На рисунке 5 представлена логическая схема выбора оптимизатором плана выполнения запроса с B+tree индексами в MongoDB.

Исходные данные

Эксперимент проводился на сгенерированных данных онлайн научной библиотеки. Созданы таблицы в PostgreSQL: «resource» с 70 млн записей, «article» с 30 млн записей и «userlib» с 30 млн записей. В MongoDB созданы коллекция «resource» с 23 млн документов. Выполнялись сложные запросы к двум таблицам в PostgreSQL и сложные запросы ко вложенному полю в документе коллекции MongoDB. Исследовался план выполнения запросов, возвращаемый планировщиком. Изучались особенности применения B-tree индексов в этих запросах для каждой СУБД.

Ресурсы научной онлайн библиотеки состоят из нескольких типов: статьи, книги, презентации, видео, методические указания. В таблицах PostreSQL у этих типов ресурсов есть одинаковые поля: название источника, автор, тип источника, путь к файлу, год издания. Таблица «resource» содержит поля «id» — идентификационный номер, name — название источника, author — автор, type — тип источника, «path» — путь к файлу, «year» — год издания. Ресурс является суперклассом для статьи, видео и т.д. Таблица «article» включает поля: «id», «DOI», «ISBN» и «resource_id» для связи с суперклассом «resource». Аналогично связаны другие классы видео, презентация, научный том и методические указания с суперклассом ресурс через поле «resource_id». Таблица «userLibrs» включает в себя поля «id», «name» — имя пользователя, «rights» — права_пользователя и «resource_id» для связи с суперклассом «resource».

В коллекции MongoDB собраны документы разного типа с разными полями; статья с полями «_id», «name» — название источника, «author» — автор, «type» — тип источника, «path» — путь к файлу, «year» — год издания, «DOI», «ISBN» и другие типы ресурсов со своими полями. Количество полей у разных типов документов было разное.

В PostgreSQL выполнялись запросы с B-tree индексами к двум таблицам «resource» и «article», «resource» и «userLib».

В MongoDB выполнялись запросы с B+tree индексами к вложенному низкоселективному полю «language» документов типа «scientificVolume», вложенным высокоселективному «DOI» и низкоселективному полю «ISBN» документов типа «article»; также проводились запросы с покрывающими индексами, где явно указывались «_id».

Методы

Целью оптимизации поисковых запросов к отношениям/коллекциям с большим количеством записей было снижение времени выполнения запросов с B-tree индексами до времени первых трех фаз зрительного анализатора человека-оператора.

Методами взвешивания таблиц были выбраны:
— pg_size_pretty(pg_relation_size('userLibr_2')),
— обращение к статистике метатаблиц:
— select * from bt_metap('index_btree_us_2'),
— bt_page_stats('index_btree_us_2', 3)

Методами анализа запросов были выбраны:
— EXPLAIN ANALYZE для запросов в PostgreSQL,
— explain(«executionStats») для запросов в MongoDB.

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице 1 представлены данные по количеству записей в таблицах PostgreSQL и коллекции «resource»

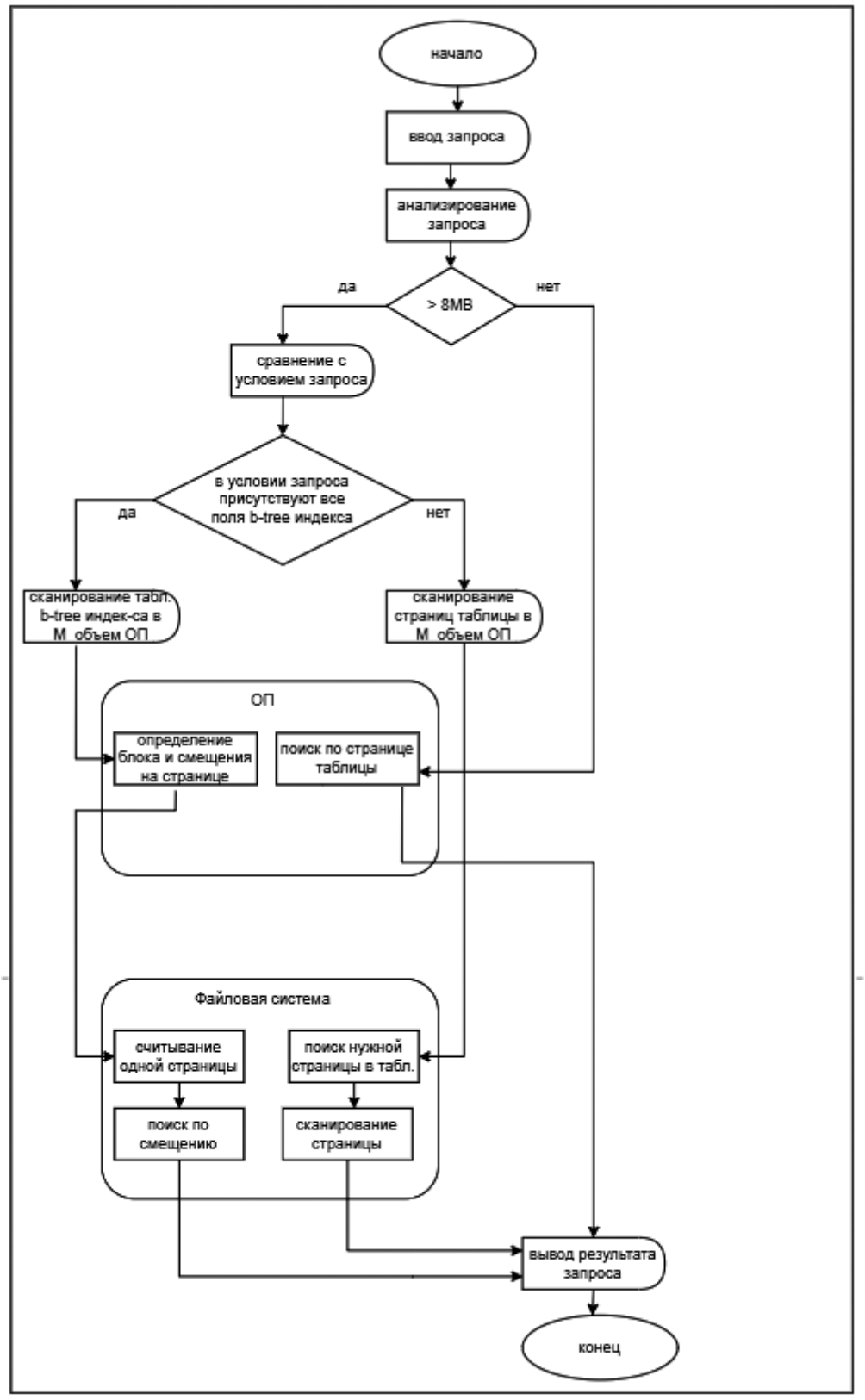


Рис. 4. Логическая схема выбора оптимизатором плана выполнения запроса с B-tree индексами в PostgreSQL

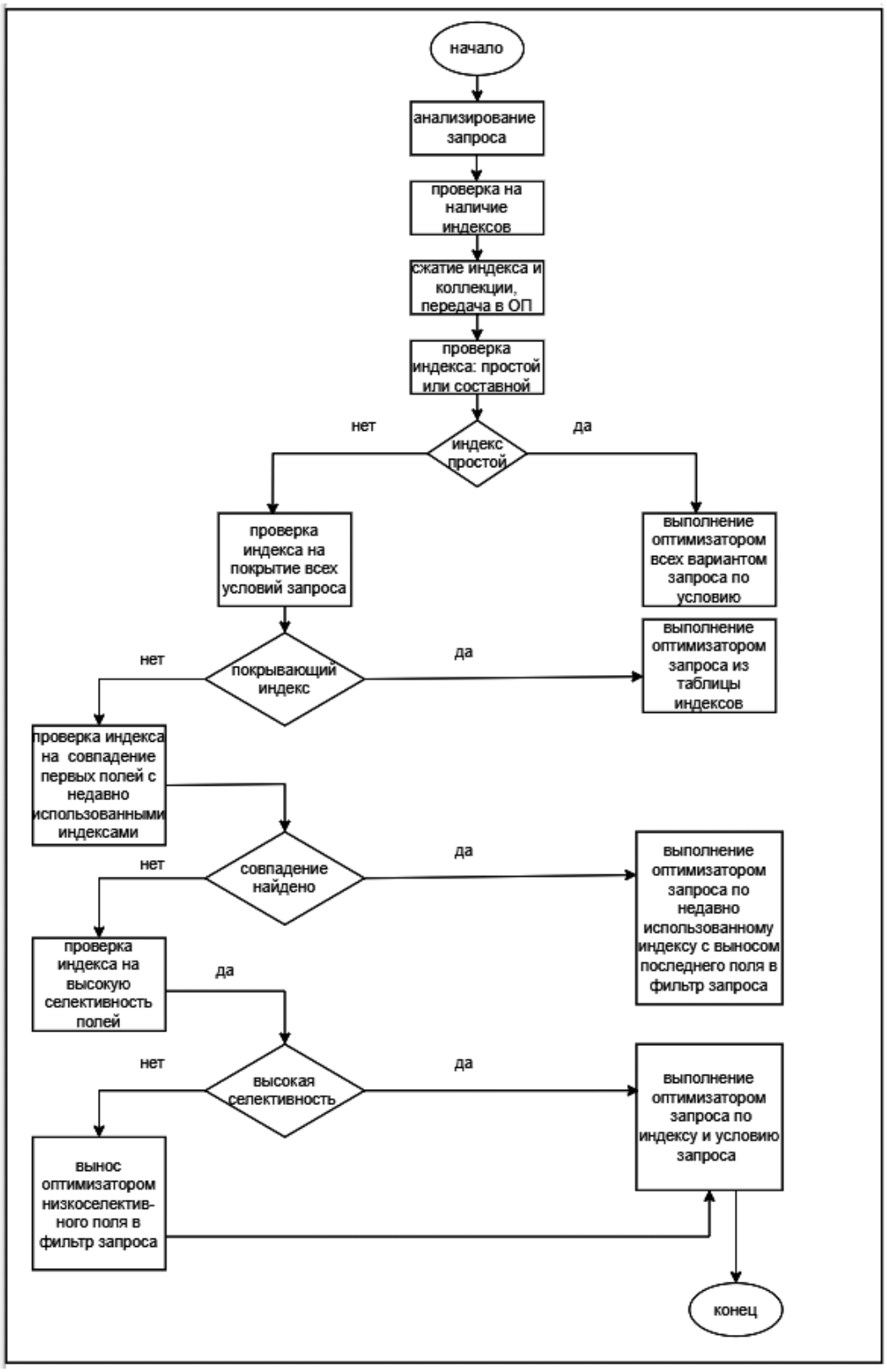


Рис. 5. Логическая схема выбора оптимизатором плана выполнения запроса с B-tree индексами в MongoDB

MongoDB и время полного считывания в сложных запросах (запросы №№ 1, 2).

Таблица 1.

Данные по количеству записей в таблицах PostgreSQL и коллекции «resource» MongoDB и время полного считывания в сложных запросах

СУБД	PostgreSQL	MongoDB
объём таблиц/коллекций (количество записей)	«resource»: 70 000 000; «article»: 30 000 000; «userlab»: 30 000 000	«resource»: 23 000 000;
время полного сканирования таблиц/коллекции (мс)	92683.329	28326

В таблице 2 представлены результаты выполнения сложных запросов в PostgreSQL и MongoDB.

В запросе №1 происходит полное считывание из двух таблиц resource и article, время выполнения 92683.329 мс.

В запросе №2 происходит полное считывание из коллекции resource до вложенного уровня включительно, время выполнения 28326 мс.

В запросе №3 присваиваем пользователю с именем “user2000” право “admin”, повышая селективность поля максимально и выполняем запрос по индексу B-tree к двум таблицам resource и userlibr. В плане выполнения запроса получаем чтение только индексных таблиц.

В запросе №5 к двум таблицам resource и article по индексам B-tree оптимизатор при выборе плана по индексам будет читать все строки таблицы индексов с учетом значений null.

Для запроса №6 создаем индекс с учетом null значений и, тем самым, снижаем время выполнения запроса.

В запросе №9 к таблицам resource и article планировщик выбирает план чтения по индексам в таблице resource и полного сканирования таблицы article по причине отсутствия индекса для этой таблицы.

В запросе №10 пример покрывающих индексов, когда происходит чтение из таблиц индексов для обеих таблиц resource и article, не происходит обращение к самим таблицам.

В запросе №12 по индексу B+tree к вложенному полю коллекции resource происходит чтение таблицы индексов и чтение одного документа:

В запросе №13 по индексу B+tree к вложенному полю коллекции resource происходит чтение только таблицы индексов и не происходит обращение к таблице, т.е. пример покрывающих индексов. Это получилось достигнуть с помощью явного указания “_id” = 0:

В запросе 14 по индексу B+tree с низкоселектиным полем ISBN к вложенному полю планировщик использует вложенное поле документа в индексе, как фильтр запроса и проводит поиск по имеющемуся в памяти ключу, первые поля которого совпадают с созданным нами ключом для этого запроса:

В запросе 15 по индексу B+tree с высокоселектиным полем DOI к вложенному полю оптимизатор также использует вложенное поле документа в индексе, как фильтр запроса и проводит поиск по имеющемуся в памяти ключу, первые поля которого совпадают с созданным нами ключом для этого запроса:

Таким образом, оптимизатор выносит вложенное поле документа в фильтр плана выполнения запроса, использует частично подходящий имеющийся в кэше индекс по другим полям индекса.

Таблица 2.

Результаты выполнения сложных запросов в PostgreSQL и MongoDB

	PostgreSQL			MongoDB		
	№ запроса	Время (мс)	Снижение времени %	№ запроса	Время (мс)	Снижение времени %
селективность	4	9.74	99,99	14	83	99,71
	3	5.06	99,99	15	77	99,73
фильтрация NULL-значений в запросе	6	2.88	99,99	—	—	—
	5	3.17	99,99	—	—	—
покрытие условия	9	5924.29	93,61	12	118	99,58
	10	6.12	99,99	13	72	99,75
серия сложных запросов	[9, 10, 3, 4]	[5924.29, 6.2, 5.7, 9.48]	->99,99	[12, 13, 15, 14]	[118, 9, 2, 0]	->100

Для выявления времени сжатия и передачи данных в память подсистемой хранения WiredTiger проведена серия запросов. Сравнивалось время выполнения первого запроса из серии запросов и время выполнения этого же запроса после очищения буфера, повторного создания индекса на эту коллекцию и выполнения серии запросов. Выяснилось, что время выполнения одного и того же запроса сильно сократилось с 118 мс до 22 мс в результате предварительного запроса на создание индекса на эту коллекцию. В условиях приближения к чистому эксперименту можно считать разницу во времени выполнения этих запросов временем работы WiredTiger.

Аналогичная серия запросов была проведена и в PostgreSQL. Сравнивалось время выполнения запросов в режиме после очищения буфера и в режиме серии запросов. Как видно из таблицы 2, время одиночных запросов очень близко к времени выполнения этих запросов в серии запросов для PostgreSQL. В то время, как для MongoDB время выполнения запросов в режиме серии запросов значительно сокращается по сравнению с временем выполнения этих запросов в одиночном режиме после очищения буфера. Это время в серии запросов стремиться к нулю даже при низкоселективном поле в фильтре запроса (см. Таблицу 2). Такое наблюдение является подтверждением, что в результате сжатия вся коллекция находится в оперативной памяти. Этот пример позволяет убедиться, что для MongoDB рациональным будет выполнение серии запросов к большой коллекции по сравнению с одиночными запросами. Для PostgreSQL проведение одиночных запросов или серии запросов не влияет на время их проведения.

Время зрительного анализатора человека-оператора можно рассматривать, как «время зрительной фиксации (для простых фигур — 0,2 сек и для ознакомления с ситуацией — 0,65 сек) $t_{фикс}$, время сохранения зрительного ощущения (инерция зрения) $t_{ин}$ и время зрительного восприятия $t_{воспр}$. Это неполный набор ЗА ЧО» [2]. Нас интересуют первые перечисленные три фазы.

В нашем эксперименте время сложного запроса на чтение без индексов к отношению resource с 70 млн записей составило 92,683 сек. Это значительно превышает время зрительного анализатора человека-оператора.

В нашем эксперименте время сложного запроса на чтение с B-tree индексами к отношению resource с 70 млн записей в PostgreSQL составило:

— с применением селективности: 5,06 мс,
— с учетом значений IS NOT NULL в индексе: 2.88 мс,
— с покрывающими индексами: 6.12 мс,
— к коллекции с 23 000 000 записей в MongoDB:
— с применением селективности: 77 мс
— с покрывающими индексами: 72 мс

Все значения меньше времени зрительного анализатора человека-оператора (первые три фазы). Так мы доказали эргономичность наших запросов.

Заключение

— применение индексов B-tree в сложных запросах к отношениям/ коллекциям с большим количеством записей в PostgreSQL и MongoDB сокращает время запроса на 99%;
— для PostgreSQL наиболее информативными для снижения времени сложных запросов к таблицам с большим количеством записей оказались факторы применения в запросах покрывающих индексов, высокой селективности полей индексов, явное указание значений NULL в таблице индексов;
— для запросов с B-Tree индексами к таблицам PostgreSQL важен порядок полей в индексе; уникальные и высокоселективные поля рационально прописывать на первой позиции;
— для MongoDB наиболее информативным выявлен фактор кэширования в оперативную память таблицы индексов и таблицы данных, к которым на текущий момент происходит обращение. Поэтому, важно выполнять запросы серий запросов к одной коллекции;
— при выполнении серии сложных запросов к одной коллекции время работы WiredTiger прибавляется ко времени первого запроса в серии запросов к одной коллекции; время следующих запросов в серии сокращается и стремится к 0;
— при выполнении серии сложных запросов с B-tree индексами первым запросом актуально выполнять самый короткий запрос с учетом покрывающих индексов и селективности; это сократит время всей серии запросов;
— при выполнении вышеперечисленных условий сложных запросов с B-tree индексами, время выполнения не превышает времени первых трех фаз восприятия светового сигнала зрительным анализатором человека-оператора. Поэтому мы можем утверждать, что такие запросы являются эргономичными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горячкин Б.С. Проектная эргономика автоматизированных систем обработки отображения информации и управления: Монография. М.: «Спутник+», 2023. Т. 1. С. 165–178. ISBN: 978-5-9973-6761-9.
2. Горячкин Б.С. Проектная эргономика автоматизированных систем обработки отображения информации и управления: Монография. М.: «Спутник+», 2023. Т. 2. С.136–171. ISBN: 978-5-9973-6782-4.
3. Елисеева Е.А., Горячкин Б.С., Виноградова М.В., Черненький М.В. Оценка времени выполнения поисковых запросов в nosql и объектно-реляционной базах данных // Динамика сложных систем — XXI век. 2022. Т.16. №2. С. 44–51. DOI: 10.18127/j19997493-202202-05.
4. Виноградов В.И., Виноградова М.В. Постреляционные модели данных и языки запросов: Учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2017. 96 с. ISBN 978-5-7038-4283-6
5. Документация PostgreSQL. 64.1. https://www.postgresql.org/docs/current/indextypes.html
6. Документация PostgresPro документация 14.1.1, 14.1.2. https://postgrespro.ru/docs/postgrespro/9.5/using-explain
7. Документация PostgreSQL 65.6. Разметка страницы. https://postgrespro.ru/docs/postgrespro/9.5/planner-stats-details
8. Документация PostgresPRO. 15.1. Как работают параллельно выполняемые запросы. https://postgrespro.ru/docs/postgresql/10/how-parallel-query-works
9. Официальный сайт компании Хабр. https://habr.com/ru/companies/postgrespro/articles/330544/ (дата обращения 15.10.2024).
10. Егор Рогов. PostgreSQL 16 изнутри. М.: ДМК Пресс, 2024. 664 с. ISBN 978-5-93700-305-8
11. Позняк А.А., Горячкин Б.С. Оценка времени выполнения SQL-запросов в озерах данных // Наукосфера. 2024. № 5-1. С. 60–70 DOI: 10.5281/zenodo.11208215
12. Официальный сайт компании Хабр. Paul Randa. Почему оптимизатор запросов не анализирует содержимое буферного пула. https://habr.com/ru/companies/otus/articles/649573/ (дата обращения 17.10.2024).
13. Официальный сайт компании Хабр. Григорчук С. Оптимизация запросов базы данных на примере B2B сервиса для строителей. https://habr.com/ru/articles/461071/ (дата обращения 24.10.2024).
14. Официальный сайт компании Хабр. Robert Sheldon. 14 questions about indexes in SQL Server that you were embarrassed to ask when parsing the end of the file: перевод с англ. https://habr.com/ru/articles/247373/ (дата обращения 17.10.2024).
15. MongoDB Documentation. https://www.mongodb.com/docs/
16. Адамо. Тонете. Учебное пособие по шардингу MongoDB с лучшими практиками и рекомендациями по его включению. https://www-percona-com.translate.goog/blog/when-should-i-enable-mongodb-sharding/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=rq#:~:text=Auto%20sharding%20in%20MongoDB%20automatically,datasets%20and%20high%20user%20demands (September 1, 2023)
17. Adamo Tonete A. Tutorial on MongoDB Sharding with Best Practices & When to Enable ItSeptember https://www.mongodb.com/docs/manual/tutorial/analyze-query-plan/ (1 сентября, 2023)

© Виноградова Мария Валерьевна (vinogradova.m.iu5@yandex.ru); Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru);
Литвинович Людмила Валентиновна (89167429943@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.14

ОБУЧЕНИЕ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА БЕЗОПАСНОМУ ОБХОДУ ПРЕПЯТСТВИЙ: ПЛАНИРОВАНИЕ, ИМИТАЦИЯ И ПОДКРЕПЛЕНИЕ

TRAINING ROBOTIC MANIPULATORS FOR SAFE OBSTACLE AVOIDANCE: PLANNING, IMITATION, AND REINFORCEMENT

Gao Tianci
Yang Bo
Rao Shengren

Summary. This paper proposes a comprehensive method for training a UR5 robotic manipulator to perform safe and efficient movements in environments with randomly placed obstacles. In the first stage, collision-free «expert» trajectories are automatically generated using the OMPL motion planning library. This eliminates the need for manual robot control and ensures high-quality demonstrations. In the second stage, a behavioral cloning approach is used to derive an initial policy capable of reproducing these demonstrations and avoiding collisions. Finally, reinforcement learning with the PPO algorithm is applied to fine-tune and improve the policy based on a reward function that accounts for positioning accuracy, collision penalties, and other factors. This strategy unites formal trajectory planning with the adaptability inherent to reinforcement learning methods. Experimental results in the simulator show that the proposed three-stage framework — *planner–imitation learning–reinforcement learning* — achieves higher goal accuracy and a lower collision rate compared to classical approaches trained from scratch.

Keywords: motion planning (ompl), imitation learning, reinforcement learning, safe obstacle avoidance, collision-free trajectory, industrial robotics.

Гао Тяньцы
Аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
gaotianci0088@gmail.com
Ян Бо
Аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
yangbo.123@hotmail.com
Жао Шэнжэнь
Аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
raoshengren@gmail.com

Аннотация. В данной работе предлагается комплексный метод обучения манипулятора UR5 безопасным и эффективным перемещениям в условиях случайно расположенных препятствий. На первом этапе с использованием библиотеки планирования движений OMPL автоматически генерируются коллизионно-свободные «экспертные» траектории, что устраняет необходимость ручного управления роботом и обеспечивает высокую надёжность демонстраций. Затем путём поведенческого клонирования формируется начальная политика, способная воспроизводить данные демонстрации и избегать столкновений. На заключительном этапе используется обучение с подкреплением (алгоритм PPO) для донастройки и совершенствования полученной политики с учётом целевой функции вознаграждения (точность позиционирования, штрафы за столкновения и т.д.). Такой подход позволяет объединить формальное планирование безопасных траекторий с адаптивностью, присущей методам обучения с подкреплением. Результаты экспериментов в симуляторе показывают, что предложенная трёхэтапная схема «планировщик — имитационное обучение — подкрепляющее обучение» обеспечивает более высокую точность достижения цели и меньшую частоту столкновений по сравнению с классическими методами, основанными на обучении с нуля.

Ключевые слова: планирование движений (OMPL), имитационное обучение, обучение с подкреплением, безопасный обход препятствий, коллизионно-свободная траектория, промышленная робототехника.

Введение

Актуальность исследования

Современные универсальные манипуляторы находят широкое применение в промышленности благодаря сочетанию высокой точности и гибкости. Однако традиционное ручное программирование в условиях быстро меняющихся производственных задач требует значительных ресурсов и не всегда оказывается эффективным при наличии препятствий. В связи с этим возрастает потребность в методах автоматизированного построения и адаптации траекторий, которые обеспечивают безопасность (отсутствие столкновений) и высокую точность конечного позиционирования.

Обзор существующих методов

Для решения задачи планирования движения манипуляторов традиционно рассматривают несколько подходов:

Планирование в конфигурационном пространстве (RRT, PRM, реализованные в OMPL) — данные алгоритмы позволяют формировать формально безопасные траектории, однако в динамичных условиях могут оказаться вычислительно затратными.

Обучение с подкреплением (ОС) даёт роботу возможность самостоятельно осваивать стратегию на основе механизма проб и ошибок, однако обучение «с нуля» связано с повышенным риском столкновений на ранних этапах.

Имитационное обучение (ИО), в частности поведенческое клонирование (ПК), использует «экспертные» демонстрации для быстрого старта, но в значительной степени зависит от качества и достаточности этих демонстраций.

Основная идея и вклад

В настоящей работе предлагается объединить преимущества формального планировщика и методов обучения. Подход включает три ключевых шага:

1. Генерация демонстрационных данных с помощью библиотеки OMPL, исключающая ручное управление роботом.
2. Имитирующее обучение (ПК) для формирования безопасной стартовой политики на основе «экспертных» траекторий.
3. Донастройка политики методом обучения с подкреплением (PPO), что дополнительно повышает точность позиционирования и адаптивность стратегии.

Проведённые эксперименты показывают, что предлагаемая трёхэтапная схема «планировщик — имитация — подкрепление» обеспечивает более высокие показатели точности и безопасности по сравнению с подходами, не использующими демонстрационные данные.

Связанные работы

В области робототехники и управления манипуляторами обычно выделяют три ключевых направления исследований: планирование движений, обучение с подкреплением и имитационное обучение. За последние годы каждое из этих направлений претерпело существенное развитие, особенно в задачах, связанных с манипуляторами, имеющими высокое число степеней свободы.

1. *Методы планирования движений*

Классические алгоритмы, такие как RRT и PRM, остаются одним из наиболее распространённых способов построения коллизионно-свободных траекторий для роботов-манипуляторов [1], [2]. Открытые библиотеки (например, OMPL [3]) предоставляют гибкий инструментарий для поиска безопасного пути в конфигурационном пространстве с учётом геометрических и кинематических ограничений. Эти методы обычно отличаются высокой надёжностью и объяснимостью, однако в динамических или плохо определённых сценариях вычислительная сложность может существенно возрастать.

2. *Обучение с подкреплением и имитационное обучение*

Обучение с подкреплением (ОС) основано на механизме проб и ошибок с целью максимизации итогового вознаграждения. Такие алгоритмы, как PPO [4] и SAC [5], успешно применяются в непрерывных и высоко размерных задачах. Тем не менее при обучении «с нуля» в реальных роботизированных системах нередко возникают повышенные риски столкновений на ранних этапах и значительные затраты ресурсов.

Имитационное обучение (ИО) использует демонстрации эксперта и тем самым сокращает объём неэффективных действий. Самый простой вариант — поведенческое клонирование (ПК), при котором модель обучается воспроизводить «состояние–действие» на основе предоставленных экспертных данных. Это позволяет быстро получить первоначальную стратегию, однако качество результата сильно зависит от полноты и разнообразия демонстраций. Кроме того, при недостаточном охвате возможных ситуаций возникает риск смещения политики.

3. *Позиционирование данной работы*

С учётом перечисленных особенностей в настоящей работе предлагается объединить методы формального планирования движений и имитационного обучения:

1. **Генерация «экспертных» траекторий** манипулятора с использованием OMPL без ручного управления.
2. **Поведенческое клонирование** для формирования начальной безопасной политики.
3. **Дальнейшая оптимизация** с помощью обучения с подкреплением (PPO) для повышения точности и адаптивности.

Таким образом, комбинация «планировщик + имитация + подкрепление» обеспечивает как безопасность и высокое качество стартовой политики, так и гибкость методов ОС. Эксперименты в среде со случайно размещёнными препятствиями демонстрируют преимущество предлагаемого подхода по точности и эффективности по сравнению с альтернативами, не использующими демонстрационные данные.

Методология

Ниже представлена пошаговая схема предлагаемых методов обучения манипулятора безопасному и эффективному взаимодействию в условиях случайно расположенных препятствий. На рис. 1 показаны основные этапы — от генерации препятствий до итоговой настройки управляющей стратегии.

Основные стадии можно описать следующим образом:

1. **Создание случайных конфигураций среды:** В симуляторе генерируются различные препятствия и целевые положения конечного звена.
2. **Сбор демонстрационных данных с помощью планировщика движений (OMPL):** Алгоритм автоматического поиска пути формирует допустимые, коллизионно-свободные траектории.
3. **Предварительное обучение (поведенческое клонирование):** На основе полученных демонстраций создаётся начальная политика, способная воспроизводить «экспертные» траектории.
4. **Донастройка с подкреплением (PPO):** Политика уточняется с учётом заданной функции вознаграждения, включая штрафы за столкновения и отклонения от цели.
5. **Периодическая оценка и сохранение модели:** Система регулярно оценивает качество стратегии и сохраняет лучшие параметры.

Модель и вознаграждение

Пусть s_t — состояние (углы в суставах, относительная позиция до цели, показатели расстояния до препятствий и пр.), a_t — действие (приращения по суставам). Ищется стратегия $\pi_\theta(a|s)$, максимизирующая сумму вознаграждений.

Обычно вознаграждение включает положительный вклад за приближение к цели и существенный штраф за столкновения или выход за физические ограничения.

Сбор демонстрационных данных

При помощи OMPL генерируется последовательность состояний и действий $\{(s_i, a_i)\}$, гарантированно свободных от коллизий (см. рис. 2). Данный набор служит базой для последующего имитационного обучения.

Имитационное обучение (поведенческое клонирование)

Обучается параметрическая функция $\mu_\phi(\mathrm{s})$, минимизирующая среднеквадратичную ошибку:

$$L_{\text{demo}}(\theta) = \mathbb{E}_{(s,a)\sim D}\left\|a - \pi_\theta(s)\right\|^2. \quad (1)$$

где (s,a) берутся из набора «экспертных» демонстраций D. В результате формируется политика, способная воспроизводить демонстрационные траектории и избегать коллизий.

Донастройка с помощью PPO

Поскольку исходная стратегия может оказаться субоптимальной (избыточные движения, удлинённые тра-

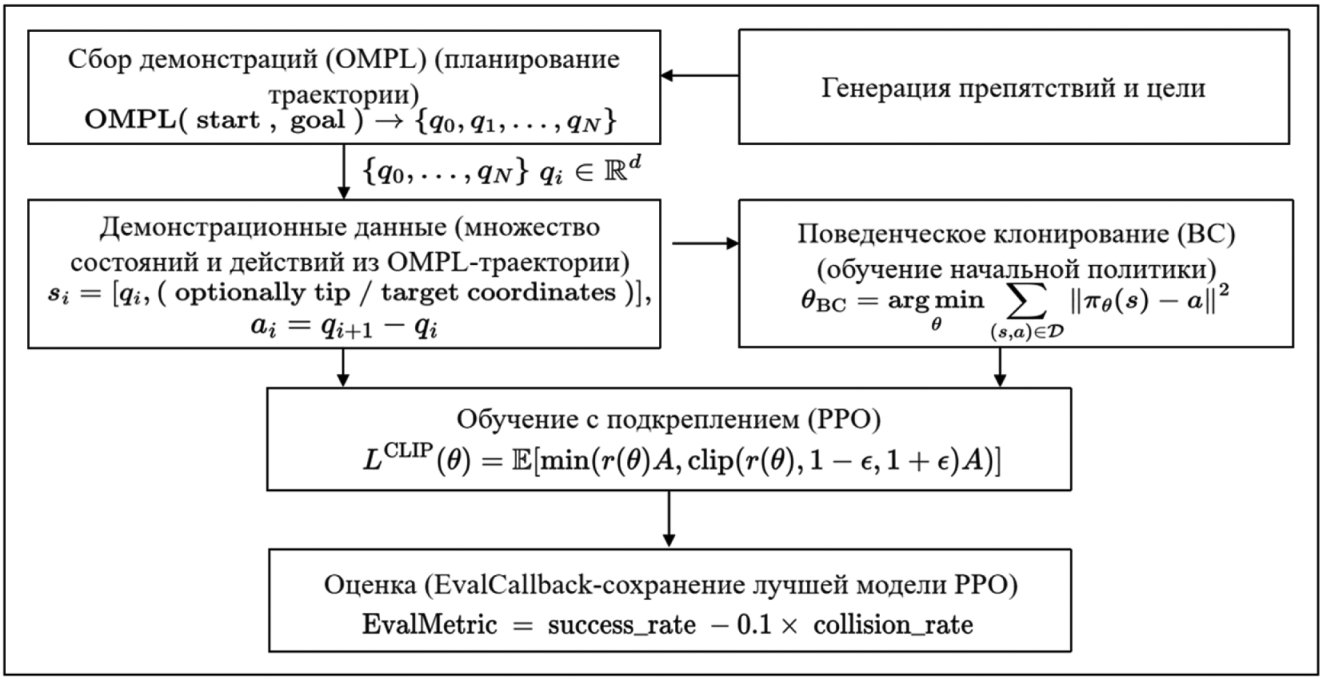


Рис. 1. Общая структура обучения

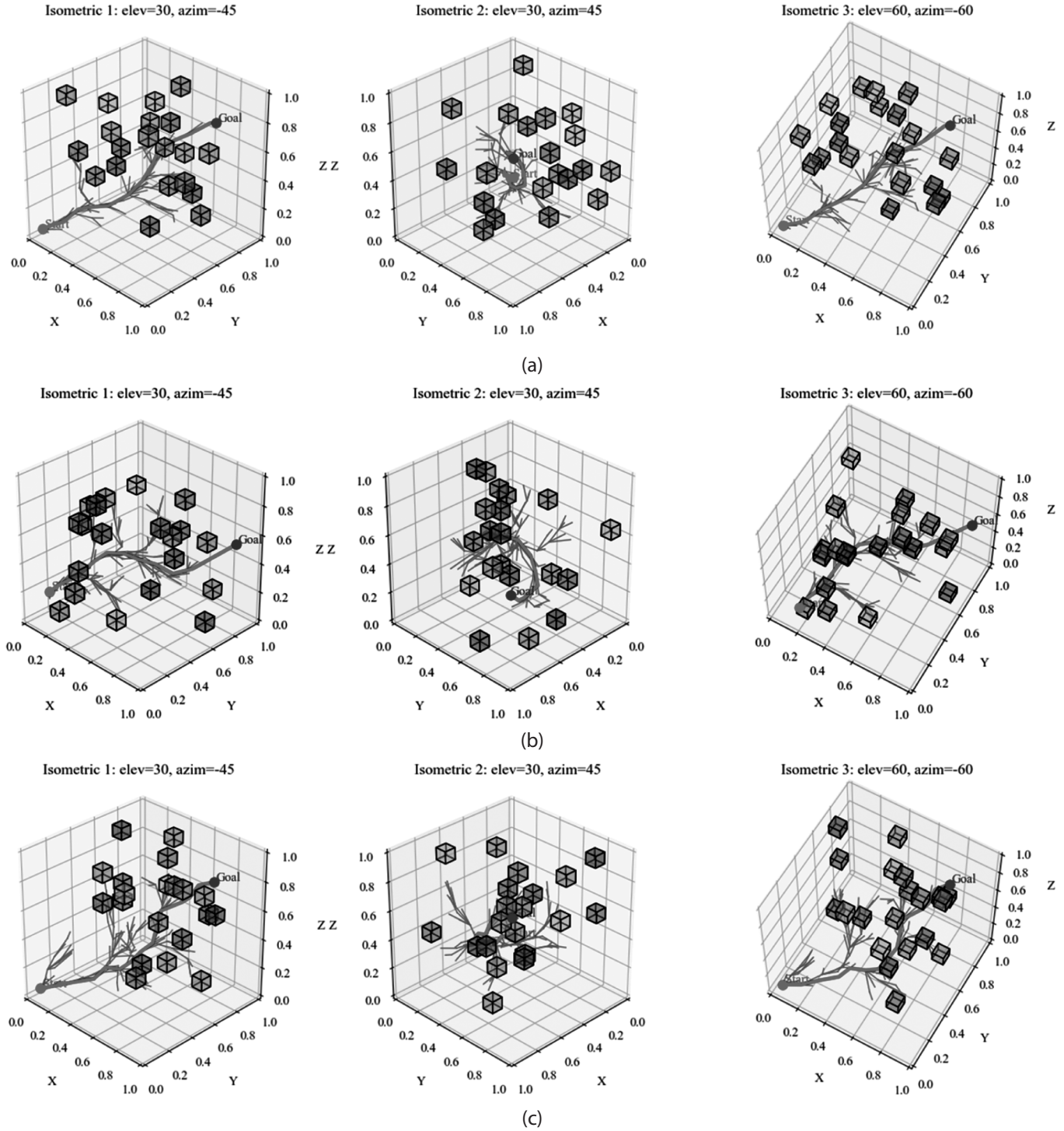


Рис. 2. Пример трёхмерной сцены с препятствиями и построенной траекторией

ектории и т.п.), следующим этапом используется обучение с подкреплением (PPO):

$$L_{reinforce}(\theta) = \\ = \mathbb{E}_t\left[min\left(r_t(\theta)\hat{A}_t, clip\left(r_t(\theta), 1-\epsilon, 1+\epsilon \right)\hat{A}_t \right)\right] \quad (2)$$

где $r_t(\theta)$ — отношение вероятностей действия, $\hat{A}_t$ — оценка преимущества, а ϵ — малый гиперпараметр (например, 0.1 или 0.2). Такой подход обеспечивает плавное обновление параметров и снижает риск деградации уже сформированной политики.

Эксперименты

Среда и настройки

В экспериментальной среде (см. рис. 3) манипулятор UR5 (6 степеней свободы) функционирует в рабочем

пространстве, представленном в виде сетки возможных позиций. В задаче моделируются случайно расположенные препятствия (например, кубы различных размеров и цветов), усложняющие поиск безопасной траектории. Для генерации «экспертных» демонстрационных данных используется планировщик движений OMPL (алгоритмы RRT/PRM), который автоматически формирует допустимые, коллизионно-свободные маршруты.

Для управления манипулятором была выбрана нейросеть со скрытыми слоями по 64 нейрона в каждом (функция активации ReLU). На вход подаются параметры состояния (положение и размеры препятствий, текущие углы в суставах, координаты целевой точки и т.д.), а на выходе формируются приращения по суставам. На рис. 4 схематически представлено, как данная сеть сочетается с двумя этапами обучения: **поведенческим клонированием (ПК)** и **обучением с подкреплением (PPO)**.

Методы сравнения и метрики

В экспериментах сравнивались следующие методы:

1. Предлагаемый (ПК + PPO), где «экспертные» демонстрации служат основой для быстрой инициализации, а затем осуществляется дообучение с подкреплением (на графиках обозначен светло-серым).
2. PPO с модифицированными эвристиками (AEP).
3. Стандартный PPO (без начальных демонстраций).
4. A2C, DDPG, SAC, TD3 — распространённые алгоритмы обучения с подкреплением.

Для оценки эффективности использовались следующие ключевые метрики:

- Успешность: доля эпизодов, в которых манипулятор достиг цели без столкновений.
- Частота столкновений: процент эпизодов, завершившихся коллизией.
- Средняя награда и скорость сходимости: оценка по кривой вознаграждения (reward) в процессе обучения.

Результаты

Успешность. На рис. 5 приводятся результаты при различных допусках по точности конечного позиционирования (10–100 мм). Предлагаемый метод демонстрирует наивысшую успешность, особенно при более жёстких требованиях.

Кривые обучения. На рис. 6 показано, что стратегия, инициализированная через демонстрации, достигает высоких значений награды быстрее, чем методы, обучающиеся «с нуля».

Частота столкновений

Согласно данным таблицы 1, комбинация «ПК + PPO» даёт существенно более низкую вероятность коллизий, поскольку робот перенимает «экспертные» навыки обхода препятствий уже на ранних этапах обучения. Это значительно повышает безопасность и стабильность поведения в дальнейшем.

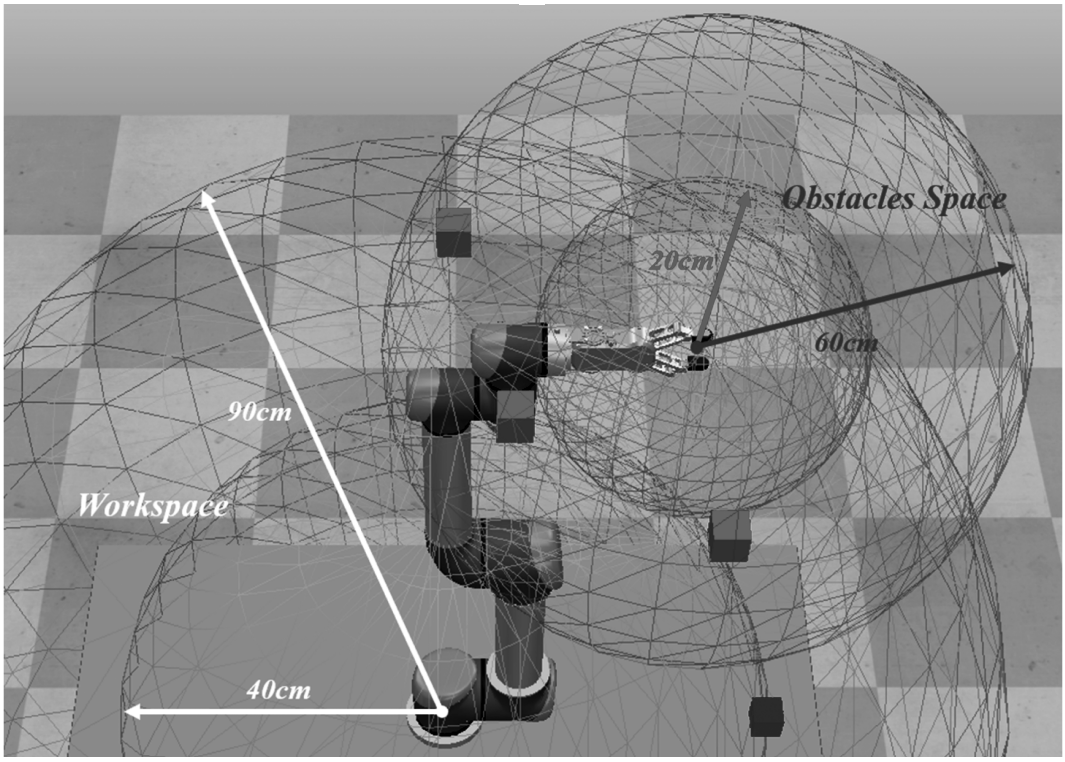


Рис. 3. Пример рабочего пространства манипулятора UR5 с сеткой возможных позиций и случайными препятствиями

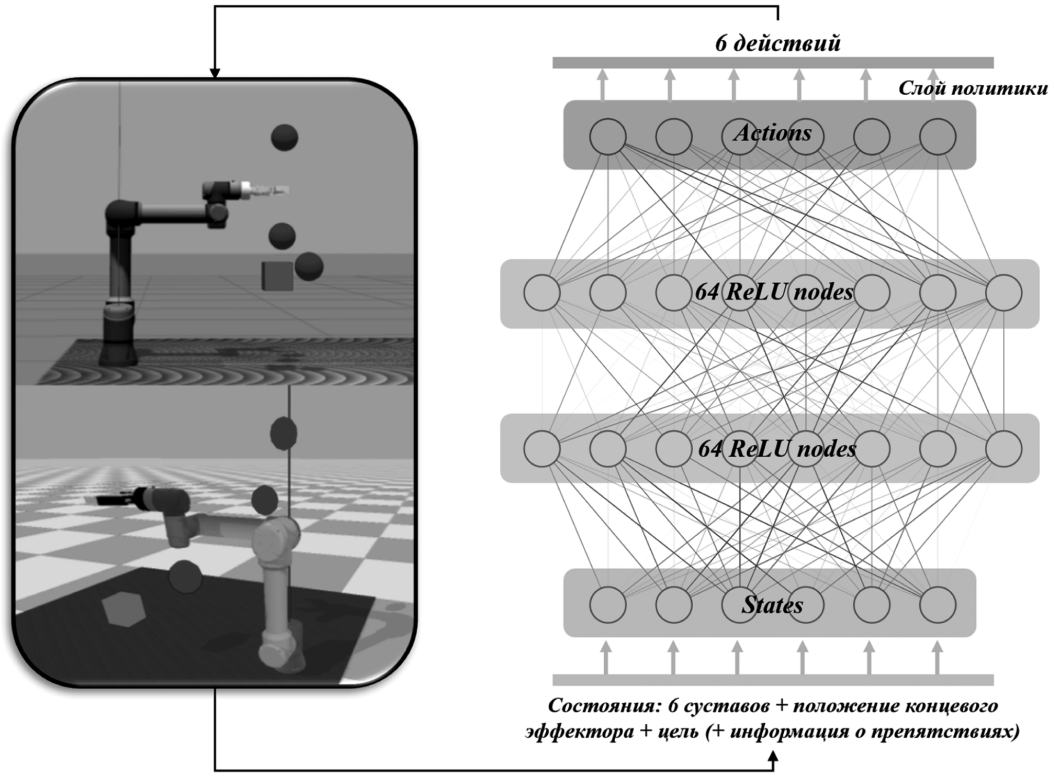


Рис. 4. Структура нейросети (поведенческое клонирование + PPO) для управления UR5

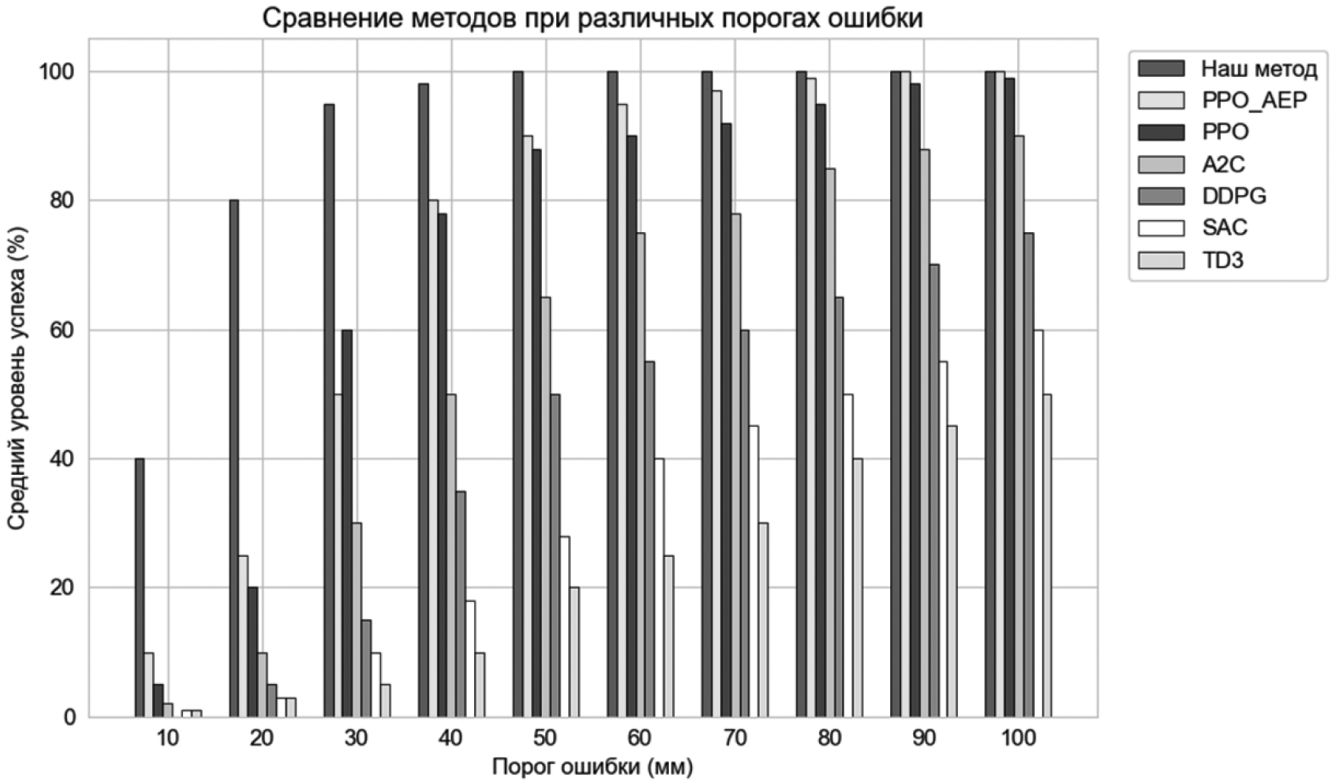


Рис. 5. Уровень успешности для разных методов при различных порогах ошибки позиционирования (в миллиметрах)

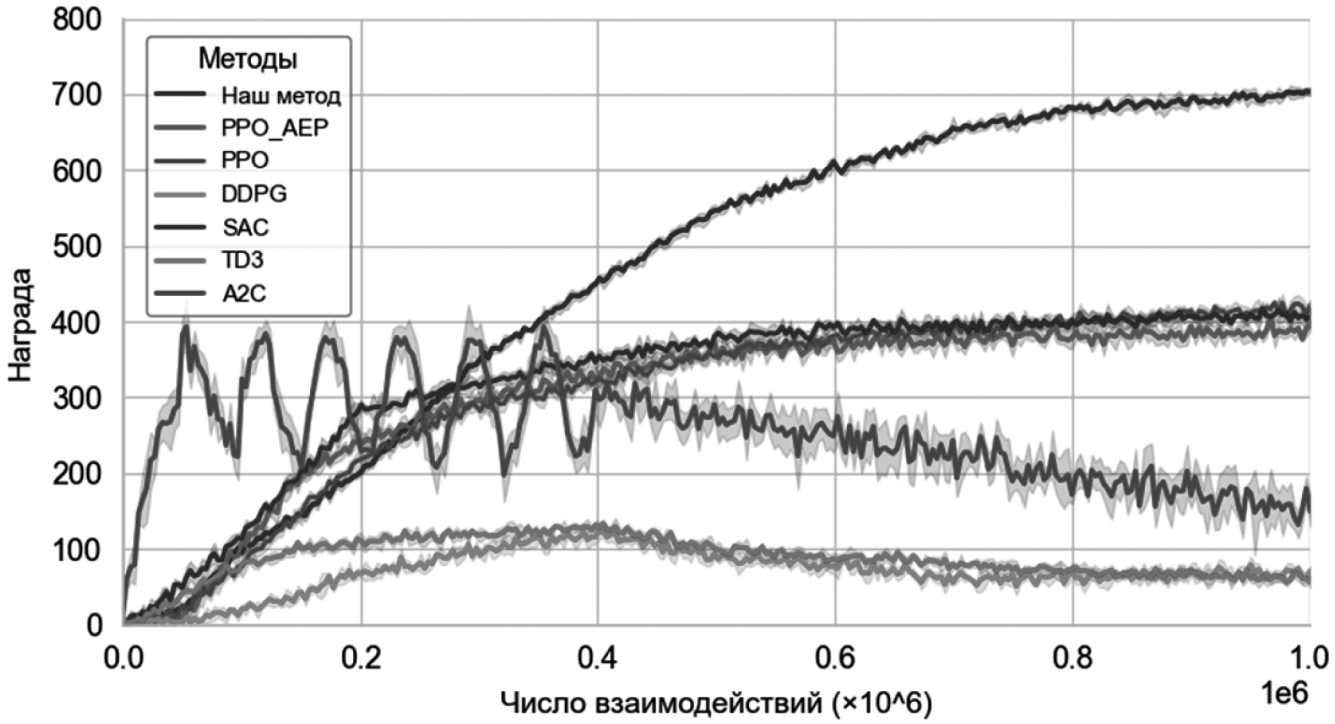


Рис. 6. Кривые обучения разных методов (по оси абсцисс — число шагов, по оси ординат — средняя награда)

Таблица 1.

Сравнение показателей различных методов в задаче управления манипулятором UR5

Метод	Успешность (%)	Вероятность столкновения (%)	Шаги до сходимости
Стандартный PPO	72,6	15,4	$1{,}1\times10^6$
Модифицированный PPO (AEP)	83,4	10,1	$0{,}9\times10^6$
A2C	70,3	14,6	$1{,}2\times10^6$
DDPG	68,5	16,2	$1{,}4\times10^6$
SAC	75,1	12,5	$1{,}1\times10^6$
TD3	78,4	11,9	$1{,}0\times10^6$
Демонстрации + обучение с подкреплением	90,1	5,7	$0{,}85\times10^6$

Заключение

В данной работе предложен трёхэтапный метод обучения манипулятора UR5 безопасному обходу препятствий. На первом этапе с помощью OMPL автоматически генерируются коллизионно-свободные «экспертные» траектории, устраняя необходимость ручного управления роботом и обеспечивая высокую надёжность исходных демонстраций. Затем путём поведенческого клонирования (ПК) формируется начальная политика, способная воспроизводить эти демонстрации и избегать столкновений. Наконец, с помощью алгоритма PPO выполняется дополнительная оптимизация полученной стратегии, что позволяет повысить точность и адаптивность управляющих действий.

Проведённые эксперименты подтверждают следующие преимущества разработанного подхода:

1. **Быстрая сходимость и высокая точность уже на ранних шагах обучения**, что существенно снижает совокупные затраты вычислительных ресурсов.
2. **Минимизация вероятности столкновений**, поскольку робот унаследует «экспертные» навыки избежания препятствий с самого начала обучения.
3. **Гибкость и масштабируемость**: метод легко адаптируется к новым конфигурациям препятствий и другим модификациям задач.

В перспективе планируется экспериментальная проверка предложенного метода на физическом манипуляторе UR5, а также дополнение сценария моделирования динамически перемещающимися препятствиями. Кроме того, особый интерес представляют формальные гарантии безопасности и интерпретируемость стратегий, что имеет критическое значение при внедрении подобных систем в промышленную среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чжан Л., Цай К., Сун З. и др. (2025). Планирование движений для робототехники: обзор методов на основе выборок. Биомиметические интеллектуальные системы и робототехника, 100207.
2. Фэн Б., Цзян С., Ли Б. и др. (2024). Адаптивный метод multi-RRT для планирования движения робота. Экспертные системы с применениями, 252, 124281.
3. Ян С., Лю П., Пирс Н.Э. (2023). Сравнительный анализ алгоритмов планирования в библиотеке OMPL для роботизированных рук в среде с препятствиями. В Трудах конференции «Инновации в науке и технике Йоркшира (YISEC 2023)».
4. Дель Рио А., Хименес Д., Серрано Х. (2024). Сравнительный анализ алгоритмов A3C и PPO в обучении с подкреплением: обзор в универсальных средах. IEEE Access.
5. Мок Дж. В., Мукнахаллипатна С.С. (2023). Сравнение алгоритмов PPO, TD3 и SAC в обучении с подкреплением для генерации шагающих движений у четвероногих роботов. Журнал интеллектуальных систем обучения и приложений, 15(1), 36–56.

© Гао Тяньцы (gaotianci0088@gmail.com); Ян Бо (yangbo.123@hotmail.com); Жао Шэнжэнь (raoshengren@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.15

ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕНЕДЖЕРОВ ПАКЕТОВ В ВЕБ-РАЗРАБОТКЕ

ERGONOMIC ANALYSIS OF PACKAGE MANAGERS IN WEB DEVELOPMENT

B. Goryachkin
P. Strikhar
I. Bondarenko
V. Khizhnyakov

Summary. *Problem statement*. In the modern world of programming, especially in the context of web development, JavaScript has become one of the most popular and widely used languages. Package managers are tools that automate the process of installing, updating, and removing libraries and modules necessary for applications to work. Today, there are several popular package managers for JavaScript, including npm, yarn, and pnpm. Each of them has its own characteristics, advantages, and disadvantages, which will be discussed in this article.
Goal. Analysis and research of various package managers for JavaScript, such as npm, yarn, and pnpm, with an emphasis on their functionality, performance, and usability. The research aims to identify the advantages and disadvantages of each of the tools, as well as to determine their impact on the effectiveness of web application development.
Results. As a result, it is planned to get a comprehensive understanding of modern package managers for JavaScript, their functionality and impact on the development process. It is expected that the results of the study will help developers make a more informed choice of tools for dependency management, as well as contribute to the further development of web development practices.
Practical significance. Studying the architecture of the above-mentioned tools, measuring the execution time of operations and the use of system resources will determine the difference between package managers. Choosing the most appropriate package manager will significantly reduce resources (especially time) when executing commands that are executed by interface developers daily.

Keywords: Package managers, npm, pnpm, yarn, architecture, performance comparison, metrics, dependency management, JavaScript, software development, build optimization.

Горячкин Борис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
bsgor@mail.ru
Стрихар Павел Андреевич
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
p.strikhar@gmail.com
Бондаренко Иван Геннадьевич
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
ivan.frinom@gmail.com
Хижняков Вадим Максимович
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
vadimkhiz@mail.ru

Аннотация. *Постановка проблемы*. В современном мире программирования, особенно в контексте веб-разработки, язык JavaScript стал одним из наиболее популярных и широко используемых. Пакетные менеджеры являются инструментами, которые автоматизируют процесс установки, обновления и удаления библиотек и модулей, необходимых для работы приложений. На сегодняшний день существует несколько популярных пакетных менеджеров для JavaScript, среди которых npm, yarn и pnpm. Каждый из них имеет свои особенности, преимущества и недостатки, которые будут рассмотрены в данной статье.
Цель. Анализ и исследование различных пакетных менеджеров для JavaScript, таких как npm, yarn и pnpm, с акцентом на их функциональность, производительность и удобство использования. Исследование направлено на выявление преимуществ и недостатков каждого из инструментов, а также на определение их влияния на эффективность разработки веб-приложений
Результаты. В результате выполнения планируется получить комплексное представление о современных пакетных менеджерах для JavaScript, их функциональности и влиянии на процесс разработки. Ожидается, что результаты исследования помогут разработчикам сделать более обоснованный выбор инструментов для управления зависимостями, а также внесут вклад в дальнейшее развитие практик веб-разработки.
Практическая значимость. Изучение архитектуры вышеупомянутых инструментов, измерение времени выполнения операций и использования системных ресурсов позволит определить разницу между пакетными менеджерами. Выбор наиболее подходящего менеджера пакетов позволит заметно сократить ресурсы (особенно временные) при исполнении команд, которые выполняются разработчиками интерфейсов на ежедневной основе.

Ключевые слова: пакетные менеджеры, npm, pnpm, yarn, архитектура, сравнение производительности, метрики, управление зависимостями, JavaScript, разработка программного обеспечения, оптимизация сборки.

Введение

JavaScript стал ключевым языком в веб-разработке, что привело к необходимости эффективного управления зависимостями. Пакетные менеджеры автоматизируют процесс установки, обновления и удаления библиотек и модулей, позволяя разработчикам сосредоточиться на написании кода. В крупных проектах может использоваться множество пакетов с различными зависимостями, что делает выбор правильного пакетного менеджера особенно важным.

Среди наиболее популярных пакетных менеджеров для JavaScript выделяются npm, yarn и pnpm. Каждый из них имеет свои особенности и преимущества, что требует от разработчиков понимания их различий для выбора оптимального инструмента. Менеджеры пакетов играют ключевую роль в сборке проектов, обеспечивая автоматическую установку, обновление и управление зависимостями, что упрощает процесс разработки и гарантирует совместимость библиотек [1]. Эргономика этих инструментов также влияет на продуктивность программистов, поскольку удобство использования может ускорить процесс разработки и повысить качество кода [2].

Основные функции пакетных менеджеров

Пакетные менеджеры играют ключевую роль в разработке программного обеспечения, позволяя разработчикам быстро устанавливать необходимые библиотеки и инструменты с помощью простых команд. Это значительно ускоряет процесс разработки, устраняя необходимость вручную загружать и настраивать каждую библиотеку. Одним из основных преимуществ пакетных менеджеров является автоматическое отслеживание зависимостей, что упрощает работу разработчиков [3].

В веб-разработке наиболее популярными пакетными менеджерами являются npm, Yarn и pnpm. Каждый из них предлагает свои преимущества: npm предоставляет доступ к обширной библиотеке пакетов, Yarn улучшает скорость установки и управление зависимостями, а pnpm экономит место на диске и повышает производительность установки.

Таким образом, пакетные менеджеры становятся неотъемлемой частью разработки, особенно в веб-сфере. Они помогают эффективно управлять зависимостями, ускоряют процесс разработки и минимизируют проблемы с версиями библиотек [4]. В дальнейшем исследовании будет рассмотрено влияние различных пакетных менеджеров на продуктивность разработки и опыт использования с точки зрения эргономики.

На схеме работы пакетного менеджера (рис. 1) разработчик начинает процесс, передавая файл package.json в пакетный менеджер, который содержит информацию о проекте, включая зависимости и версии пакетов. Пакетный менеджер анализирует этот файл, разрешает зависимости и загружает необходимые модули в локальную директорию проекта, создавая папку node_modules.

После завершения установки разработчик получает доступ к директории node_modules и передает ее сбор-

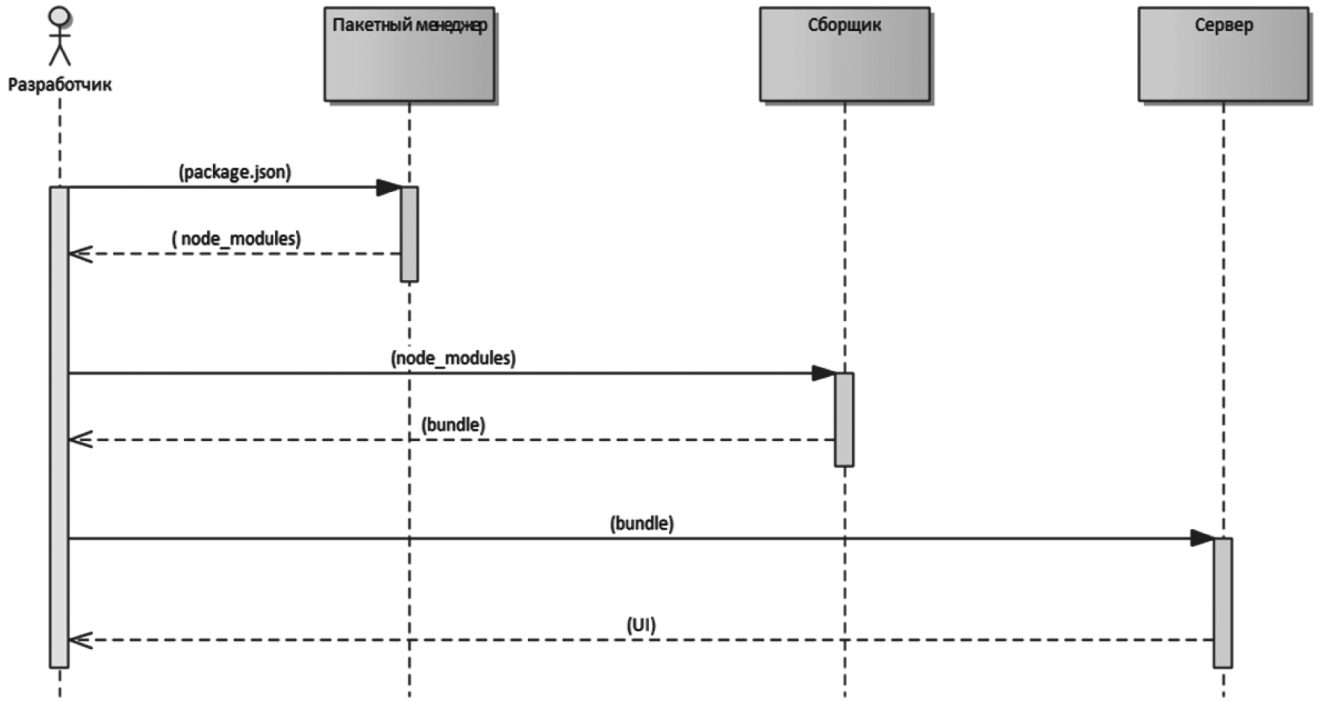


Рис. 1. Диаграмма последовательностей процесса

щику кода. Сборщик компилирует и объединяет исходный код с зависимостями, выполняя такие действия, как транспиляция и минификация, в результате чего формируется скомпилированный файл или набор файлов, называемый bundle.

Этот bundle затем загружается на сервер, где приложение становится доступным пользователям. Сервер обрабатывает запросы и возвращает UI-страницу, которая отображает интерфейс приложения и готова для взаимодействия с конечными пользователями.

Архитектурные особенности npm, yarn и pnpm

NPM (Node Package Manager) — это официальный менеджер пакетов для Node.js, который упрощает интеграцию библиотек в проекты, используя централизованный реестр для управления зависимостями [5]. Появление NPM положило конец ручной установке зависимостей, однако с выходом Yarn в 2016 году, который предложил улучшенные функции, разработчики NPM были вынуждены улучшать свой продукт. В пятой версии NPM была внедрена функция кэширования, что значительно повысило надежность установки пакетов.

Yarn, разработанный Facebook, поддерживает рабочие пространства, позволяя устанавливать зависимости для нескольких проектов одновременно, что актуально для современных практик разработки, таких как монорепозитории. В 2016 году появился PNPM, который решает проблемы объема дискового пространства и доступности зависимостей. Он выполняет операции с пакетами атомарно и использует технологию «hard links», что уменьшает объем занимаемого пространства и ускоряет установку.

Процесс установки пакетов начинается с разрешения зависимостей, где пакетный менеджер анализирует зависимости и подбирает актуальные версии библиотек. Этот процесс становится рекурсивным, поскольку у загружаемых библиотек могут быть свои зависимости. Для экономии дискового пространства введено поле devDependencies, которое содержит зависимости для разработки, устанавливаемые только если они являются прямыми зависимостями проекта. Транзитивные devDependencies пакетный менеджер игнорирует (зависимости зависимостей проекта называются транзитивными, на рисунке 2 будет проигнорирована «Библиотека 5»).

NPM имел «nested» модель установки, которая подразумевает, что для каждой зависимости проекта создаётся своя директория node_modules, в которой изолированно хранятся её зависимости — это позволяет избежать конфликтов версий. Переход на «nested» модель установки привел к образованию глубокой иерархии в директории node_modules, что занимало много места на диске и вызывало проблемы с ограничением длины путей на Windows. Хотя для бекенда это может быть приемлемо, передача такого количества библиотек на веб-сайт может быть слишком затратной, особенно из-за возможных дубликатов.

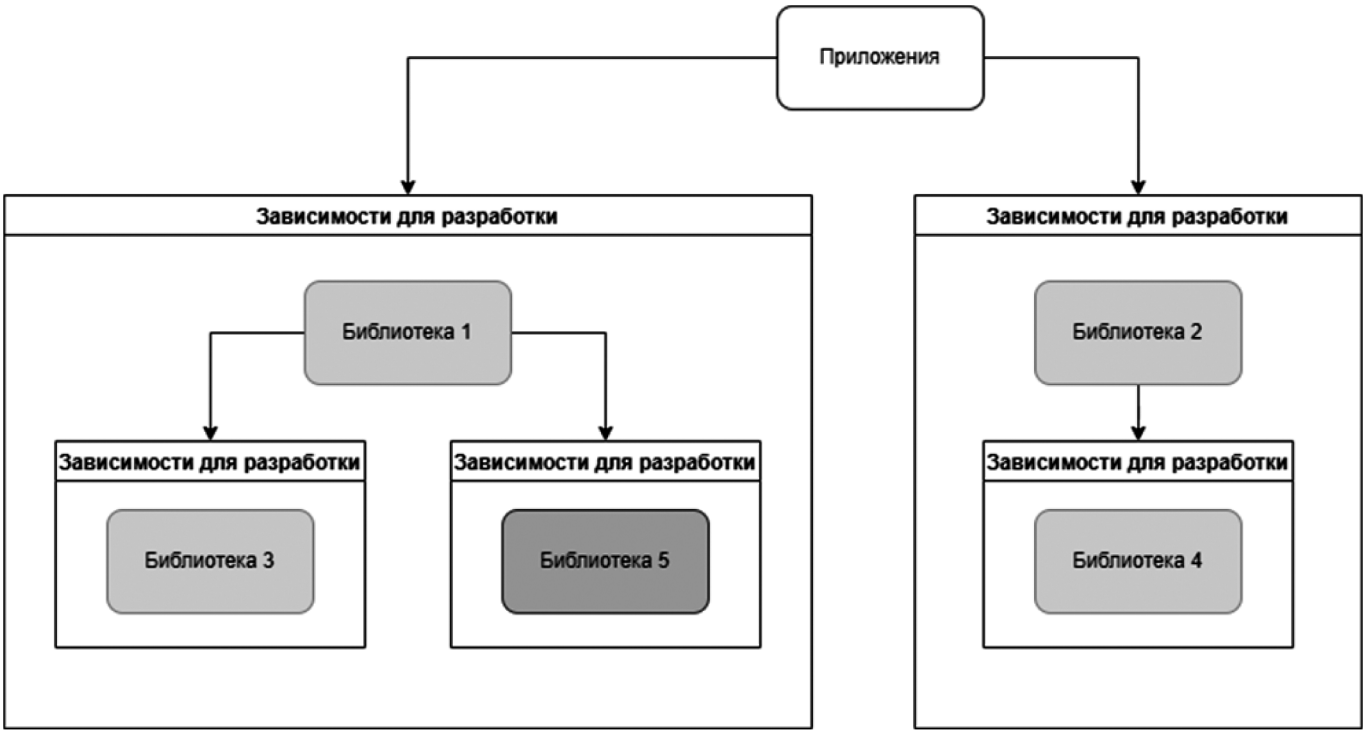


Рис. 2. Установка зависимостей с devDependencies

В связи с этим в NPM 3 была введена новая «hoisted» модель установки и механизм дедупликации пакетов. Эта модель сочетает в себе элементы плоской и «nested» моделей, позволяя хранить пакеты в верхней директории node_modules, а вложенности возникают только при конфликтах версий.

Работа этой модели обеспечивается механизмом разрешения модулей в Node.js, суть которого заключается в том, что при поиске пакета, указанного в require, Node. js проходит по всем директориям node_modules снизу вверх, то есть «всплывает» (аналогично всплытию переменных в Javascript).

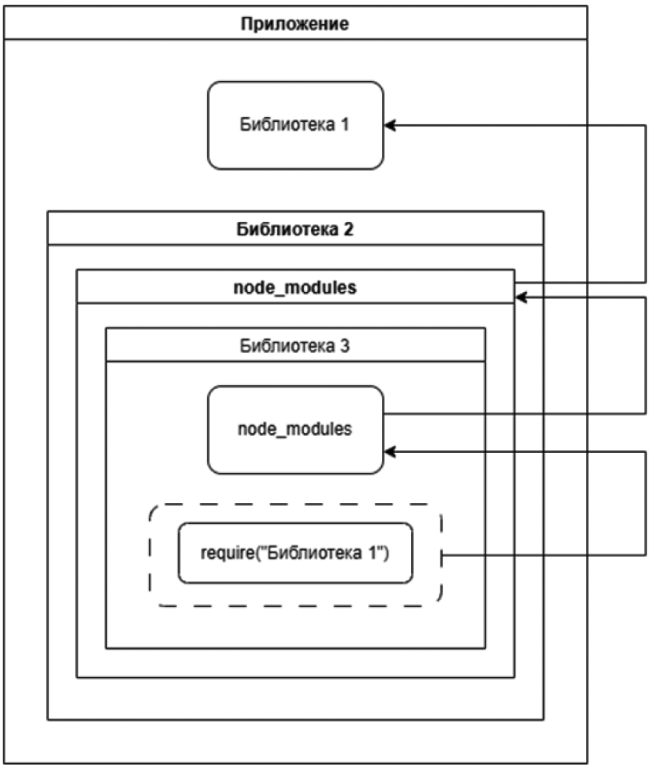


Рис. 3. Разрешение модулей в Node.js

Пакетный менеджер начинает установку с разрешения зависимостей, которые часто задаются диапазонами версий. Это создает неопределенность, так как две последовательные установки могут давать разные результаты. В процессе разработки разработчики могут столкнуться с тем, что в системе непрерывной интеграции (CI) пакетный менеджер обнаруживает возможность установки более свежей версии транзитивной зависимости, что может привести к неожиданным изменениям в поведении кода.

Для решения этой проблемы был создан альтернативный пакетный менеджер Yarn. Он генерирует файл локфайла (yarn. lock), который фиксирует конкретные версии пакетов, выбранные при установке. При следующей установке Yarn проверяет соответствие между package. json и yarn. lock, пропуская этап разрешения зависимостей и загружая пакеты из заранее определенного списка [6]. Это ускоряет процесс установки и обеспечивает предсказуемость результатов, так что две последовательные установки дают идентичный результат, даже на разных машинах. Этот подход позже был реализован и в npm.

Помимо вышеописанного механизма фиксации версий зависимостей Yarn также имел ряд других преимуществ перед NPM. Основная причина быстроты Yarn — кэш. Он позволяет создать на своей машине собственный реестр пакетов, чтобы в процессе установки заменять сетевой запрос на копирование папок в файловой системе. Меньше сетевых запросов — меньше времени занимает установка.

PNPM в отличие от NPM и Yarn не пытается сделать структуру node_modules как можно более плоской, вместо этого он скорее нормализует граф зависимостей. После установки PNPM создаёт в node_modules директорию. pnpm, которая концептуально представляет собой хранилище ключ-значение, в котором ключом является название пакета и его версия, а значением — содержимое этой версии пакета [7]. Такая структура данных

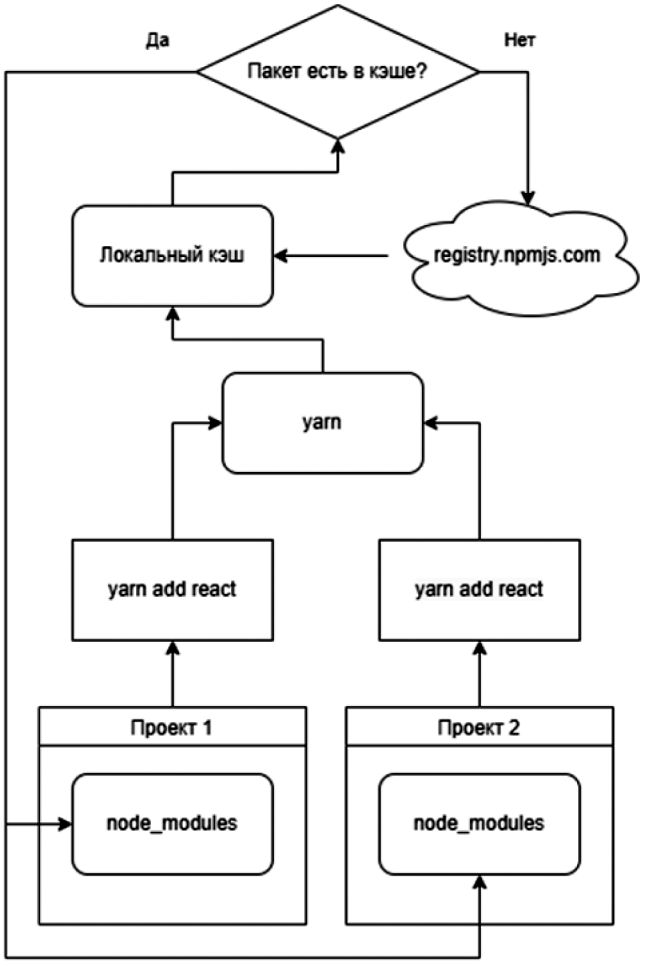


Рис. 4. Кэш пакетного менеджера

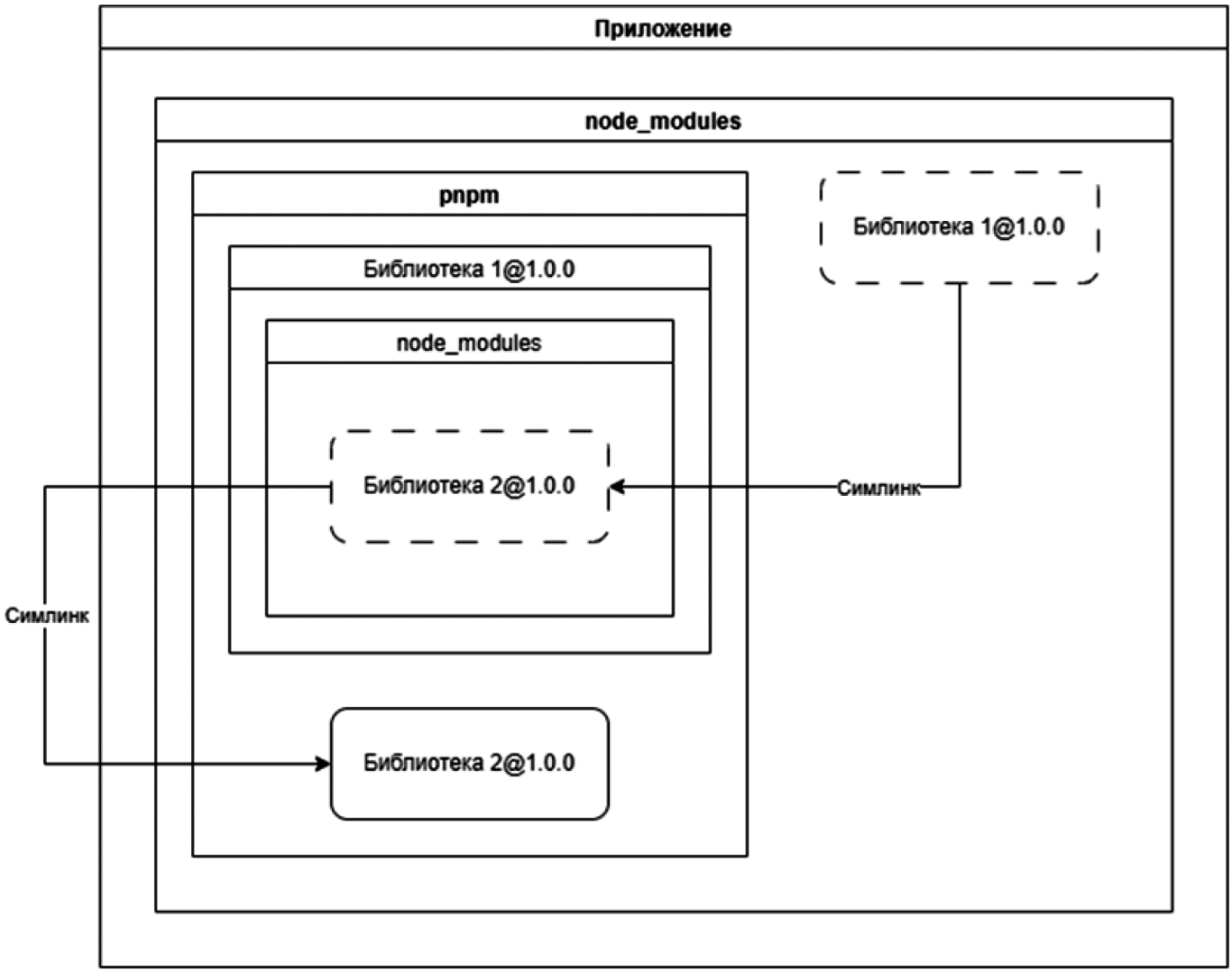


Рис. 5. Структура node_modules с PNPM

исключает возможность возникновения дубликатов. Структура самой директории node_modules будет подобна «nested»-модели из NPM, но вместо физических файлов ней будут находиться симлинки, которые ведут в то самое хранилище пакетов.

В node_modules каждого пакета будут находиться только симлинки на те пакеты, которые указаны у него в package.json. PNPM может создать директорию. pnpm не только в node_modules проекта, но и глобально. В таком случае node_modules у проектов будут содержать только симлинки, за счёт чего ускоряется установка зависимостей (создание симлинка занимает меньше времени, чем копирование файлов) и экономится количество дискового пространства.

Эргономические критерии для оценки пакетных менеджеров

Первый эргономический признак — время первичной установки пакетов. Это один из самых критичных факторов, так как разработчики часто сталкиваются с необходимостью настраивать окружение для новых проектов или обновлять существующие.

$$T_{npminstall} = T_{download} + T_{install} + T_{setup} \quad (1)$$

$$T_{yarninstall} = T_{download} + T_{install} + T_{setup} \quad (2)$$

$$T_{pnpminstall} = T_{download} + T_{install} + T_{setup} + T_{linking} \quad (3)$$

Где: $T_{download}$ — время, затраченное на загрузку пакетов из реестра.

$T_{install}$ — время, затраченное на установку загруженных пакетов в проект.

T_{setup} — время, необходимое для выполнения начальной конфигурации (например, создание структуры папок).

$T_{linking}$ — время, затраченное на создание жестких ссылок для общих зависимостей.

Npm и yarn имеют схожие подходы к скачиванию и установке пакетов. Однако, yarn использует кэширование, что может ускорить процесс. Pnpm использует уникальную стратегию хранения пакетов, что может добавить время на связывание, но в целом его подход к кэшированию может значительно ускорить повторные установки.

Следующий признак — время переустановки пакетов. В процессе работы над проектом могут возникать ситуации, когда необходимо переустановить определенные пакеты, например, после обновления или при возникновении конфликтов.

$$T_{npmreinstall} = T_{download} + T_{install} \quad (4)$$

$$T_{yarnreinstall} = T_{download} + T_{install} \quad (5)$$

$$T_{pnpmreinstall} = T_{linking} \quad (6)$$

Где: $T_{download}$ — время повторной загрузки пакетов.

$T_{install}$ — время повторной установки пакетов.

$T_{linking}$ — время, затраченное на создание жестких ссылок для общих зависимостей.

Для переустановки пакетов, npm и yarn будут тратить время на повторное скачивание, в то время как pnpm может использовать существующие пакеты в кэше, что делает его более эффективным. Поскольку pnpm использует кэшированные версии пакетов, время переустановки включает только связывание.

Время установки дополнительных пакетов — это еще один важный аспект. Веб-разработка требует гибкости и быстрого реагирования на изменения требований проекта.

$$T_{npmadd} = T_{download} + T_{install} \quad (7)$$

$$T_{yarnadd} = T_{download} + T_{install} \quad (8)$$

$$T_{pnpmadd} = T_{linking} \quad (9)$$

Где: $T_{download}$ — время загрузки пакетов.

$T_{install}$ — время установки пакетов.

$T_{linking}$ — время, затраченное на создание жестких ссылок для общих зависимостей.

Время обновления версий пакетов является критичным для поддержания актуальности проекта.

$$T_{npmupdate} = T_{checkversions} + T_{downloadnewversions} + T_{installnewversions} \quad (10)$$

$$T_{yarnupdate} = T_{checkversions} + T_{downloadnewversions} + T_{installnewversions} \quad (11)$$

$$T_{pnpmupdate} = T_{checkversions} + T_{linkingnewversions} \quad (12)$$

Где: $T_{checkversions}$ — время, затраченное на проверку доступных обновлений.

$T_{downloadnewversions}$ — время, необходимое для загрузки новых версий.

$T_{installnewversions}$ — время на установку новых версий.

$T_{linkingnewversions}$ — время связывания обновляемых пакетов.

Обновление пакетов может занять больше времени в npm и yarn из-за необходимости загрузки новых версий, тогда как pnpm может оптимизировать этот процесс за счет использования ссылок на существующие пакеты.

Конечный размер дерева зависимостей также является значимым аспектом. Чем меньше размер дерева зависимостей, тем проще управлять проектом и меньше вероятность возникновения конфликтов между пакетами.

$$S = S_{npm} = S_{yarn} = |D| \quad (13)$$

$$S_{pnpm} \ll S \quad (14)$$

Где: $|D|$ — общее количество зависимостей

Pnpm использует жесткие ссылки на общие зависимости, что позволяет значительно уменьшить размер дерева зависимостей по сравнению с npm и yarn.

Наконец, конечный размер установленных пакетов на диске влияет на производительность системы в целом.

$$M = M_{npm} = M_{yarn} = \sum_{i=1}^{N} |P_i| \quad (15)$$

$$M_{pnpm} < M \quad (16)$$

Где: N — общее количество пакетов.

$|P_i|$ — размер каждого установленного пакета. У pnpm размер меньше благодаря общему хранилищу зависимостей.

За счет использования общего хранилища для зависимостей pnpm позволяет существенно сократить занимаемое пространство на диске по сравнению с npm и yarn. Все перечисленные эргономические признаки имеют прямое влияние на продуктивность разработки и общий опыт использования пакетных менеджеров.

Результаты вычислительного эксперимента

Запуски производились на одной и той же машине, чтобы нивелировать различия в производительности устройств пользователей. Технические характеристики машины, на которой проводились замеры:

— Наименование — Apple MacBook Pro, M1 Pro, 2021
— ОЗУ — 32 Гб
— ОС — MacOS Sonoma 14.2.1

После настройки стендов были проведены замеры различных метрик (табл. 1). Каждая метрика была измерена для каждого из пакетных менеджеров (npm, yarn и pnpm). Для минимизации погрешности идентичные замеры были проведены трижды и было взято среднее значение (табл. 2).

Таблица 1.
Экспериментальные замеры эргономических признаков

Эргономические признаки	Итерация	npm	yarn	pnpm
Время первичной установки пакетов, с	Итерация 1	49,602	47,456	18,747
	Итерация 2	42,431	41,873	16,747
	Итерация 3	56,221	48,794	17,899
Время переустановки пакетов, с	Итерация 1	1,251	0,494	0,602
	Итерация 2	1,193	0,297	0,613
	Итерация 3	1,214	0,267	0,556
Время установки дополнительных пакетов, с	Итерация 1	1,235	0,842	1,379
	Итерация 2	1,152	0,955	1,516
	Итерация 3	1,193	0,947	1,378
Время удаления пакетов, с	Итерация 1	1,177	0,878	1.203
	Итерация 2	1,117	0,829	1,143
	Итерация 3	1,183	0,826	1,048
Время обновления версий пакетов, с	Итерация 1	1,231	0,742	1,238
	Итерация 2	1,153	0,957	1,318
	Итерация 3	1,109	0,841	1,257
Время запуска скриптов, с	Итерация 1	0,116	0,161	0,153
	Итерация 2	0,124	0,128	0,156
	Итерация 3	0,124	0,159	0,158
Конечный размер дерева зависимостей, строк	Итерация 1	16146	7751	9879
	Итерация 2	16146	7751	9879
	Итерация 3	16146	7751	9879
Конечный размер установленных пакетов на диске, Мб	Итерация 1	301,617152	356,446	288,322
	Итерация 2	301,617152	356,446	288,322
	Итерация 3	301,617152	356,446	288,322

Pnpm показал наилучший результат по времени первичной установки пакетов, что делает его предпочтительным выбором для проектов с большим количеством зависимостей или для разработчиков, которые часто создают новые проекты.

Таблица 2.
Итоговая таблица с замерами эргономических признаков

Эргономические признаки	npm	yarn	pnpm
Время первичной установки пакетов, с	49,418	46,041	17,798
Время переустановки пакетов, с	1,219	0,353	0,59
Время установки дополнительных пакетов, с	1,193	0,915	1,424
Время удаления пакетов, с	1,159	0,844	1,096
Время обновления версий пакетов, с	1,164	0,847	1,271
Время запуска скриптов, с	0,121	0,149	0,156
Конечный размер дерева зависимостей, строк	16146	7751	9879
Конечный размер установленных пакетов на диске, Мб	301,617	356,446	288,322

Yarn оптимизирует структуру зависимостей, уменьшая количество повторяющихся зависимостей. Pnpm также направлен на оптимизацию структуры зависимостей, но его подход отличается от yarn — он использует глобальный кэш и жесткие ссылки. Yarn показывает лучшие результаты и по другим признакам, таким как время запуска скриптов, время обновления версий пакетов и пр. (см. рисунок 9), однако необходимо упомянуть, что в этих операциях, как правило, разница не превышает одной секунды.

Результаты показали, что pnpm продемонстрировал наилучшие показатели по времени первичной установки пакетов. Это делает его предпочтительным выбором для проектов с большим количеством зависимостей. Преимущества pnpm заключаются в использовании глобального кэша и создании жестких ссылок на зависимости, что значительно ускоряет процесс установки и экономит место на диске. Кроме того, pnpm устанавливает зависимости параллельно и эффективно управляет версиями пакетов. Yarn же уменьшает количество дублирующихся зависимостей за счет использования файла yarn.lock, который фиксирует версии библиотек. Алгоритм разрешения зависимостей в yarn помогает избежать установки нескольких версий одной и той же библиотеки.

Заключение

Таким образом, мы пришли к важным выводам о значимости выбора инструментального обеспечения для

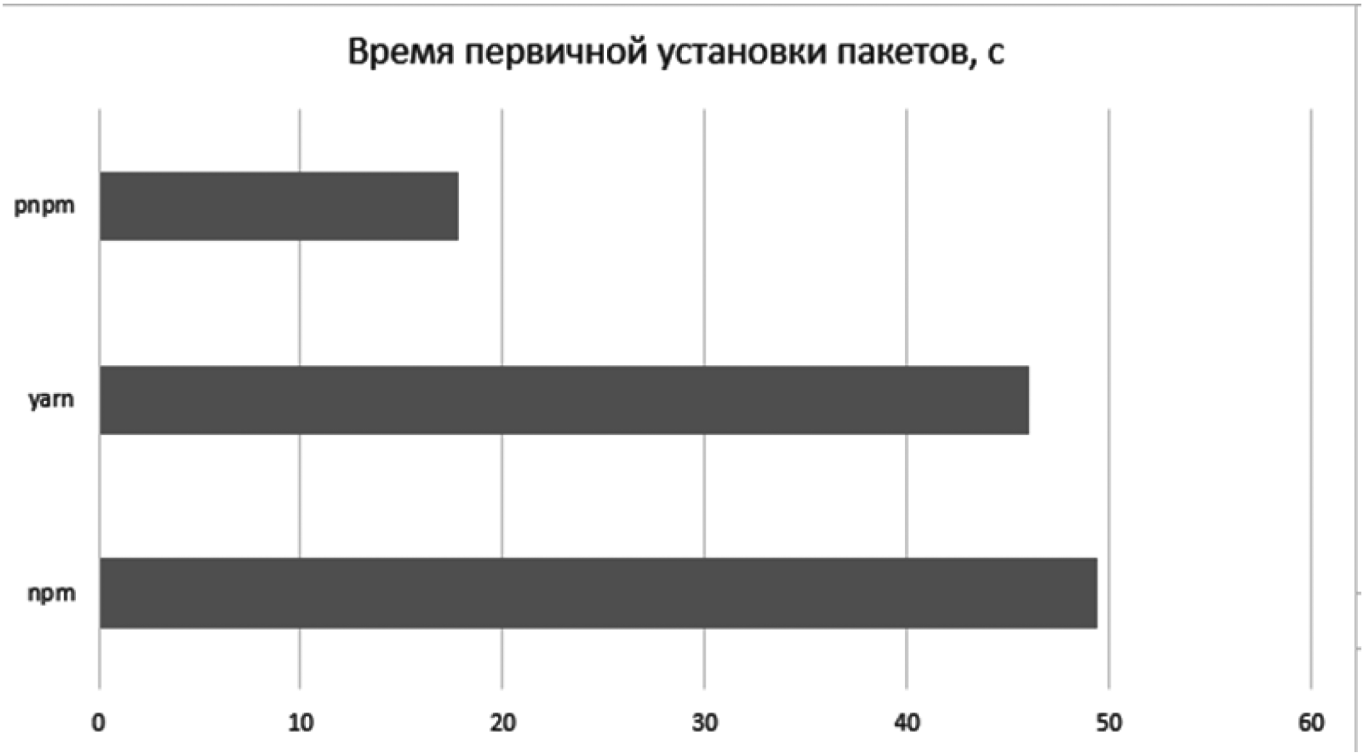


Рис. 6. Сравнение времени первичной установки пакетов

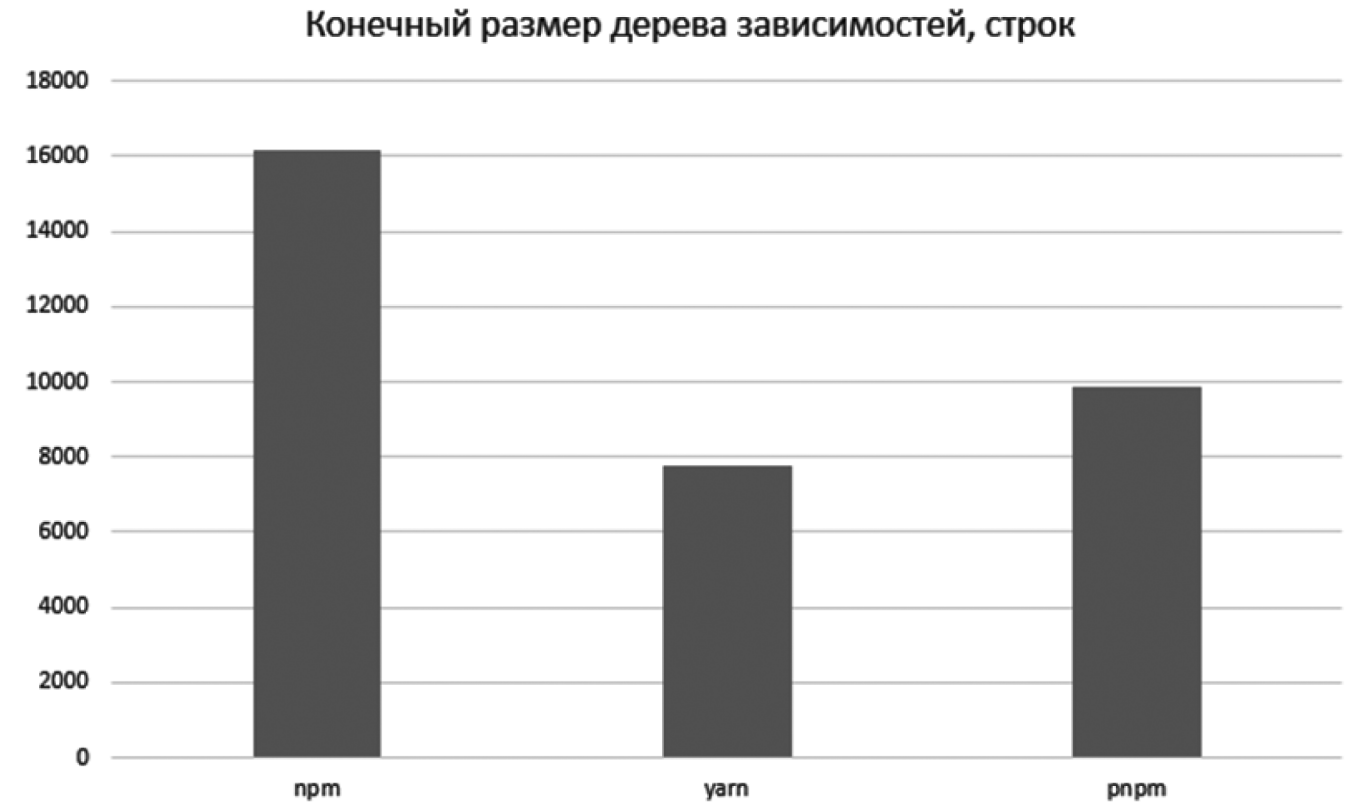


Рис. 7. Сравнение конечного размера установленных пакетов на диске

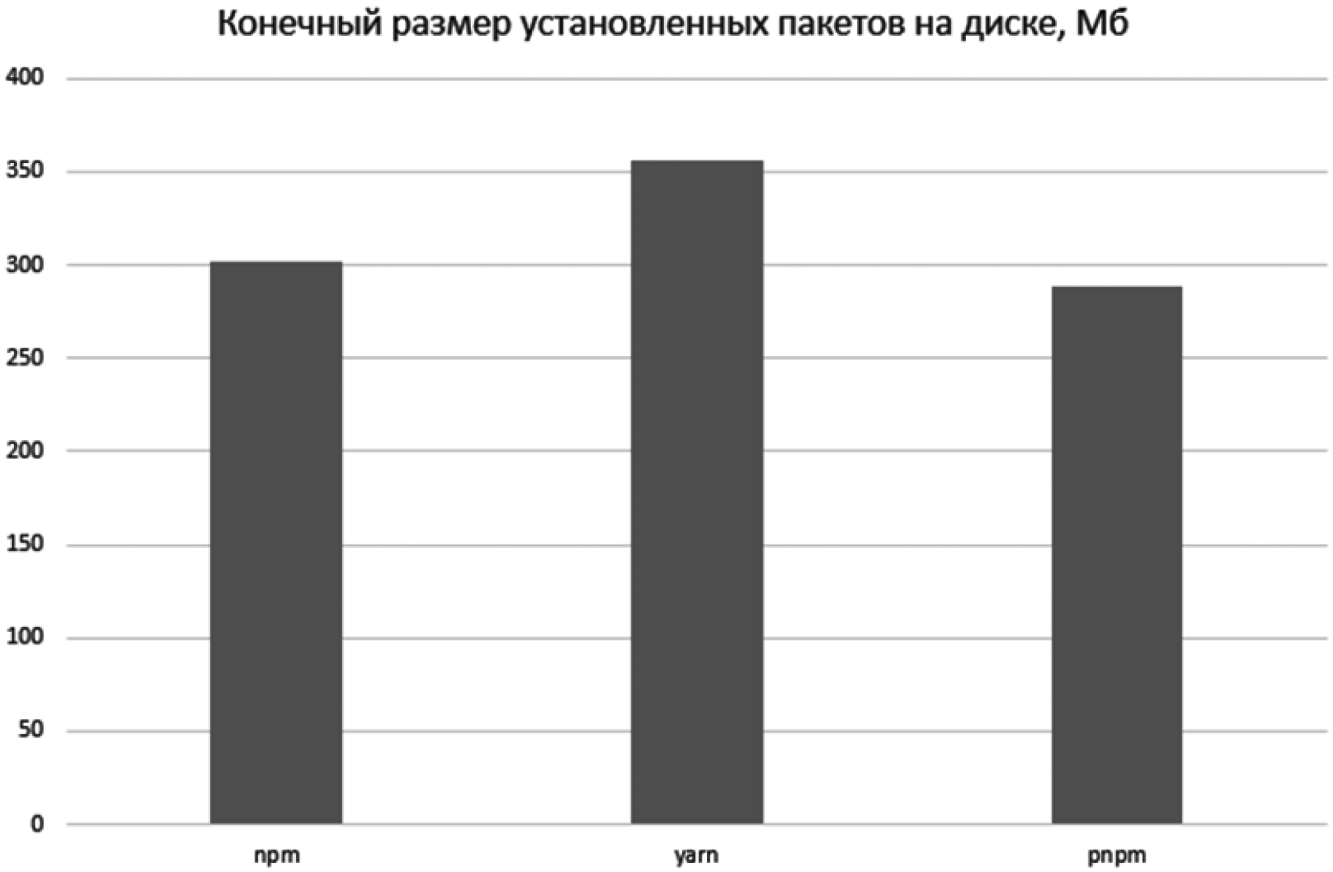


Рис. 8. Сравнение конечного размера дерева зависимостей

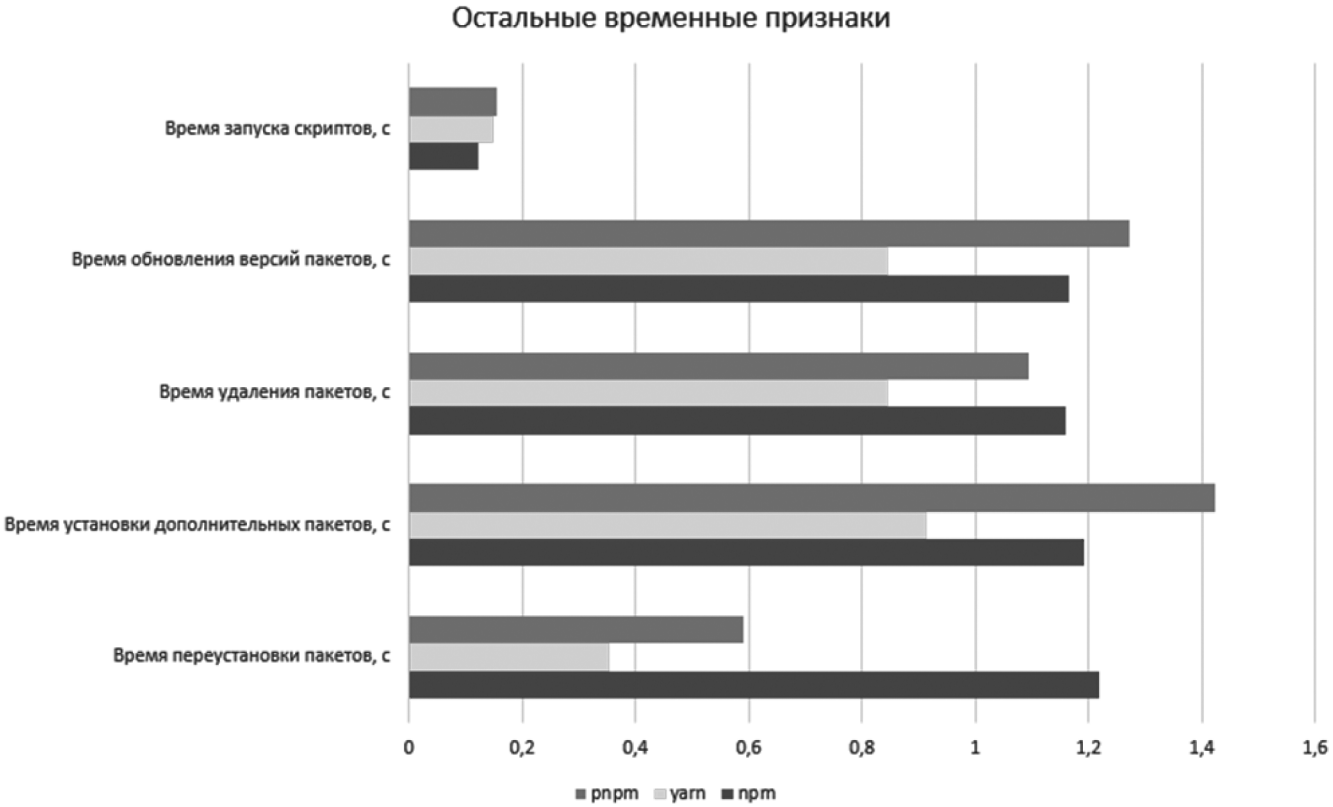


Рис. 9. Сравнение остальных временных признаков

управления зависимостями в веб-проектах. Рассмотрев основные характеристики пакетных менеджеров, мы отметили, что npm, будучи первым и наиболее распространенным, имеет недостатки, такие как медленная установка и проблемы с дублированием пакетов, что снижает его привлекательность для оптимизации рабочего процесса.

Yarn, появившийся как ответ на ограничения npm, предлагает более быструю установку и предсказуемое управление зависимостями благодаря lock-файлам. Однако он также имеет недостатки, включая сложности в управлении монорепозиториями. В отличие от них, pnpm выделяется своей эргономичностью: его подход к установке зависимостей с использованием жестких ссылок и кэширования экономит дисковое пространство и время.

Несмотря на преимущества pnpm, yarn остается серьезным конкурентом с множеством полезных функций. Правильный выбор пакетного менеджера может существенно повлиять на продуктивность разработки и качество конечного продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горячкин Б.С. Эргономический анализ систем обработки информации и управления // Вестник евразийской науки. 2017. Т. 9. №3.
2. Горячкин Б.С., Ханмурзин Т.И. Повышение эффективности работы с веб-ресурсом за счет инструментария системного программиста // Динамика сложных систем — XXI век. 2022. Т. 16, № 3.
3. Diomidis Spinellis. Package Management Systems // IEEE Software (Volume: 29, Issue: 2, March-April 2012)
4. Package management basics [Электронный ресурс] — https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn_web_development/Extensions/Client-side_tools/Package_management?clckid=47cb7e23 (дата обращения 13.12.2024)
5. Документация npm [Электронный ресурс] — https://docs.npmjs.com/ (дата обращения 13.12.2024)
6. Документация yarn [Электронный ресурс] — https://classic.yarnpkg.com/en/docs (дата обращения 13.12.2024)
7. Документация pnpm [Электронный ресурс] — https://pnpm.io/motivation (дата обращения 13.12.2024)

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru); Стрихар Павел Андреевич (p.strikhar@gmail.com);
Бондаренко Иван Геннадьевич (ivan.frinom@gmail.com); Хижняков Вадим Максимович (vadimkhiz@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.16

КОЛЛАБОРАТИВНЫЕ РОБОТЫ В СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКЕ: ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

COLLABORATIVE ROBOTS IN WAREHOUSE LOGISTICS: PERFORMANCE EVALUATION AND ERGONOMIC ASPECTS OF AUTOMATION

B. Goryachkin
N. Kalyuta

Summary. *Problem statement*. Automation of warehouse processes is a key area of logistics development. However, the introduction of traditional industrial robots poses a significant risk to personnel due to the lack of security systems. Their use requires expensive security fences and special areas, which increases costs and complicates integration into existing work processes.
Goal. To evaluate the efficiency of collaborative robots (cobots) as a safer alternative to industrial robots in warehouse logistics, to compare their performance with manual labor, and to analyze the ergonomic aspects of their implementation.
Results. A comparative analysis of the operation time for stacking and depalletizing tasks performed by humans and cobots was carried out. It was found that automation reduces time costs by 70 %, increasing the accuracy and efficiency of warehouse processes. Three types of stacking (linear, matrix, and custom) and their impact on performance were analyzed.
Practical significance. The use of cobots in a warehouse increases productivity, improves workplace ergonomics, reduces the likelihood of human error, and allows flexible adaptation of warehouse processes to changing conditions. The results obtained can be used to justify the choice of automation technologies for the modernization of logistics systems.

Keywords: warehouse operations, collaborative robots, box stacking, palletizing, depalletizing, automation, logistics, productivity.

Горячкин Борис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
bsgor@mail.ru
Калюта Никита Игоревич
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
nekitce@mail.ru

Аннотация. *Постановка проблемы*. Автоматизация складских процессов является ключевым направлением развития логистики. Однако, внедрение традиционных промышленных роботов представляет значительную опасность для персонала из-за отсутствия систем безопасности. Их использование требует дорогостоящих защитных ограждений и специальных зон, что увеличивает затраты и усложняет интеграцию в существующие рабочие процессы.
Цель. Оценить эффективность коллаборативных роботов (коботов) как безопасной альтернативы промышленным роботам в складской логистике, сравнить их производительность с ручным трудом и проанализировать эргономические аспекты их использования.
Результаты. Проведен сравнительный анализ времени выполнения операций укладки и депаллетизации для человека и кобота. Установлено, что автоматизация сокращает временные затраты на 70 %, повышая точность и эффективность процессов. Рассмотрены три типа укладки (линейная, матричная, пользовательская) и их влияние на производительность.
Практическая значимость. Применение коботов на складе повышает производительность, улучшает эргономику рабочих мест, снижает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором, и позволяет гибко адаптировать складские процессы к изменяющимся условиям. Полученные результаты могут быть использованы для обоснования выбора технологий автоматизации при модернизации логистических систем.

Ключевые слова: складские операции, коллаборативные роботы, укладка коробов, паллетизация, депаллетизация, автоматизация, логистика, производительность.

Введение

Автоматизация складских процессов на данный момент является ключевым направлением развития логистики. Коллаборативные роботы представляют собой одно из перспективных решений автоматизации складских процессов, обеспечивающее эффективное использование ресурсов, оптимизацию транспортировки и способность работать в одной среде с человеком. Коллаборативные роботы (коботы) — это роботы, предназначенные для совместной работы с человеком. На складах коботы используются для выполнения задач паллетизации (укладка грузов на паллет для хранения и транспортировки) и депаллетизации (снятие грузов с паллеты и их распределение) [2].

Коллаборативные роботы отличаются от традиционных промышленных роботов наличием встроенных систем безопасности, таких как датчики силы, ограничители скорости и зоны безопасности. Это позволяет уста-

навливать коботов непосредственно рядом с рабочими местами людей без риска травм, что делает их идеальными для складов, где часто требуется взаимодействие человека и машины. Это особенно важно в условиях ограниченного пространства, где установка традиционных роботов с ограждениями была бы затруднена [9].

Коботы легко интегрируются в существующие процессы благодаря своей компактности и простоте настройки. Они не требуют значительных изменений инфраструктуры и могут быть быстро установлены на любом участке склада. Это значительно снижает затраты на внедрение и позволяет начать использование роботов в кратчайшие сроки.

Промышленные роботы требуют соблюдения строгих норм безопасности, включая установку защитных ограждений, систем аварийной остановки и регулярных проверок [3, 4]. Эти требования значительно усложняют интеграцию традиционных роботов на складах. Коботы, напротив, соответствуют менее строгим нормам благодаря своим встроенным системам безопасности, что упрощает их внедрение и снижает затраты на соблюдение нормативных требований [1, 5]. Это делает их более привлекательными для использования в условиях, где соблюдение стандартов безопасности является критически важным.

Одним из ключевых преимуществ коботов является их гибкость в настройке. Добавление нового «рецепта» для выполнения задачи, такой как укладка или депаллетизация, занимает минимум времени. Коботы позволяют быстро адаптироваться к новым условиям, что повышает их эффективность в динамичной среде.

Для оценки производительности рассматриваются несколько типов укладки:

1. Линейная укладка, при которой груз укладывается вдоль одной оси поддона;
2. Матричная укладка, включающая укладку товаров по заранее заданной сетке или шаблону;
3. Пользовательская укладка, разрабатываемая индивидуально для каждого конкретного случая с учётом особенностей груза.

Оценка эффективности работы человека и коллаборативного робота

Для объективной оценки производительности оператора была организована серия экспериментов, в ходе которых фиксировалось время, необходимое для укладки одного короба на паллет. Исследование проводилось в стандартизированных условиях с регистрацией длительности каждого производственного цикла.

Для обеспечения высокой точности эксперимента и получения статистически достоверных результатов была выполнена серия из 1000 измерений. Такой объем данных позволил снизить влияние случайных факторов, включая утомление оператора, вариабельность рабочего темпа и воздействие внешних условий. На основе данных измерений был построен график эффективности человека, представленный на рисунке 1.

Среднее время укладки рассчитывалось по формуле:

$$\overline{t_{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n},$$

где: $\overline{t_{cp}}$ — среднее время укладки одного короба,

t_i — время выполнения i-й операции,

n — общее количество измерений.



Рис. 1. График эффективности человека



Рис. 2. График эффективности коллаборативного робота

На основании проведённого анализа экспериментальных данных среднее время укладки одного короба составляет:

$$\overline{t_{\text{человек}}} = 20{,}07 \text{ с.}$$

Согласно технической спецификации используемого коллаборативного робота, заявленное время цикла укладки составляет 6 секунд. Для верификации этого показателя был проведён эксперимент: разработана стандартизированная программа укладки с интегрированным высокоточным таймером (точность ±0,01 с), зафиксировавшим длительность каждого из 1000 рабочих циклов при контролируемых внешних условиях. График, представленный на рисунке 2, демонстрирует эффективность коллаборативного робота.

Результаты эксперимента показали, что среднее время выполнения операции составило:

$$\overline{t_{\text{кобот}}} = 6{,}03 \text{ с,}$$

что подтверждает заявленные характеристики робота.

Сравнительный анализ работы человека и коллаборативного робота на складе

Для оценки эффективности работы коллаборативного робота и человека в задачах укладки коробов был проведён сравнительный анализ времени выполнения операций для трёх типов укладки: линейной, матричной и пользовательской. В основе расчётов лежат практические данные, полученные в ходе эксперимента.

Среднее время укладки одного короба человеком:

$$\overline{t_{\text{человек}}} = 20{,}07 \text{ с.}$$

Среднее время укладки одного короба коллаборативным роботом:

$$\overline{t_{\text{кобот}}} = 6{,}03 \text{ с,}$$

Для расчёта времени укладки паллеты была использована следующая формула:

$$T = n \times \bar{t},$$

где: T — общее время укладки паллеты,

n — количество коробов на паллете,

$\bar{t}$ — среднее время укладки одного короба.

Рассчитанные значения времени укладки представлены в виде графиков, демонстрирующих зависимость времени от типа укладки и количества коробов на паллете. Полученные результаты позволяют наглядно сравнить производительность человека и робота, а также оценить потенциальные преимущества автоматизации данного процесса.

Линейная укладка

Линейная укладка предполагает размещение коробов в один ряд вдоль оси поддона. На графике видно, что коллаборативный робот значительно превосходит человека по скорости выполнения задачи укладки коробов при линейной укладке. Время, затрачиваемое коллаборативным роботом на укладку одного поддона, составляет лишь небольшую долю от времени, которое требуется человеку. Кроме того, график демонстрирует,

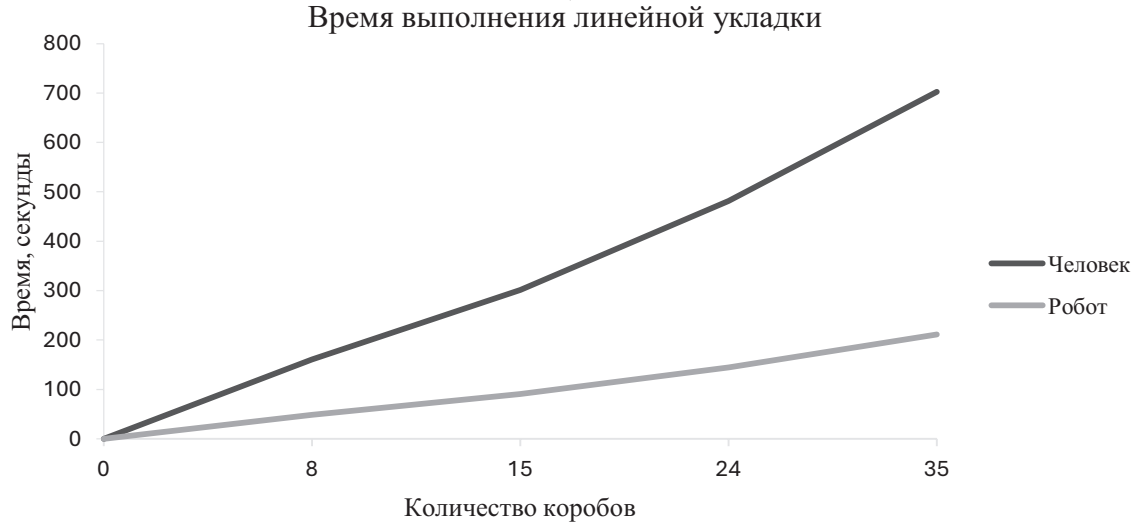


Рис. 3. График времени выполнения линейной укладки

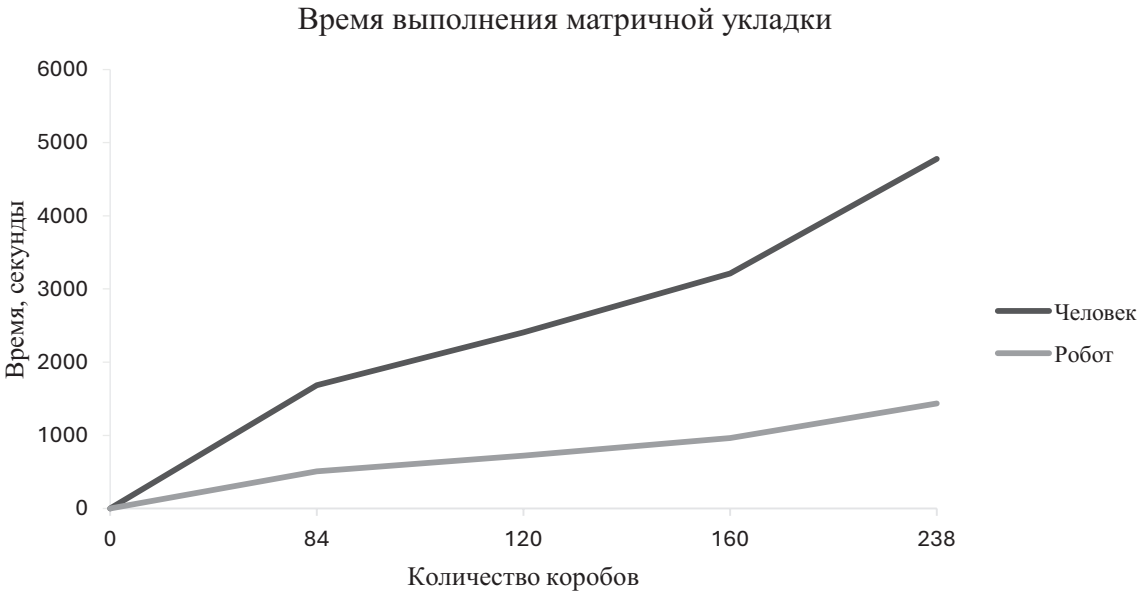


Рис. 4. График времени выполнения матричной укладки

что использование кобота позволяет существенно сократить общее время выполнения операций.

Матричная укладка

Матричная укладка предполагает размещение коробов по заранее заданной сетке, что позволяет более эффективно использовать пространство поддона. Время, затрачиваемое коботом на укладку одного поддона, существенно меньше, чем у человека, что подтверждает высокую эффективность автоматизации в условиях более сложных и плотных схем размещения груза. Это особенно важно для матричной укладки, где требуется точность и аккуратность в размещении коробов для обеспечения устойчивости паллеты. Использование коллаборативного робота при матричной укладке не только ускоряет процесс, но и снижает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.

Пользовательская укладка

Пользовательская укладка адаптируется под нестандартные или сложные товары, что требует индивидуального подхода к размещению каждого короба.

График демонстрирует, что кобот существенно превосходит человека по скорости выполнения задач укладки коробов даже в условиях пользовательской укладки, которая требует индивидуального подхода к размещению каждого груза.

В Таблице 1 представлено сравнение временных затрат на разные укладки для коллаборативного робота и человека.

Использование коллаборативного робота (кобота) для укладки коробов значительно повышает произ-



Рис. 5. График времени выполнения пользовательской укладки

Таблица 1.

Сравнение временных затрат на укладку для кобота и человека

Тип укладки	Кол-во коробов	Время укладки человеком (с)	Время укладки коботом (с)	Экономия времени (%)
Линейная	8	160,56	48,24	70 %
	15	301,05	90,45	
	24	481,68	144,72	
	35	702,45	211,05	
Матричная	84	1685,88	506,52	
	120	2408,4	723,6	
	160	3211,2	964,8	
	238	4776,66	1435,14	
Пользовательская	78	1565,46	470,34	
	120	2408,4	723,6	
	128	2568,96	771,84	
	240	4816,8	1447,2	

водительность, позволяя снизить временные затраты на укладку на 70 % по сравнению с ручной укладкой, что подтверждается результатами. Это также демонстрирует эффективность внедрения автоматизации в складские процессы: снижение времени цикла операций, улучшение точности укладки и уменьшение издержек на выполнение задач. Коботы, работая рядом с людьми, обеспечивают гибкость процессов и могут быстро адаптироваться к изменениям, что способствует оптимизации использования складских ресурсов и повышению общей эффективности работы склада.

Заключение

Проведённый анализ показал, что внедрение коллаборативных роботов позволяет сократить время выполнения операций укладки и депаллетизации на 70 %, повысить точность укладки и снизить влияние человеческого фактора. Среднее время обработки одного короба оператором составило 20,07 с, тогда как кобот выполнял аналогичную задачу за 6,03 с, что подтверждает высокую эффективность автоматизации даже при работе с различными схемами укладки (линейной, матричной и пользовательской укладки).

Тем не менее, полный отказ от человеческого труда в ближайшей перспективе маловероятен. Современные коботы, несмотря на преимущества в скорости и точности, требуют адаптации существующих рабочих процессов, обучения персонала и решения задач гибкой интеграции в сложившиеся логистические системы. Текущие ограничения связаны не столько с технологическими возможностями коботов, сколько с необходимостью сохранения баланса между автоматизацией и эргономикой рабочих мест.

В долгосрочной перспективе автоматизация складских процессов неизбежно усилится, но её темпы будут зависеть от решения ключевых проблем: стоимости внедрения, масштабируемости решений для малых складов и социальной адаптации персонала. При этом даже частичное внедрение коботов уже сейчас даёт значимый экономический эффект, сокращая издержки и повышая точность операций.

Таким образом, коллаборативные роботы не заменят полностью человеческий труд, но трансформируют его, создавая новую парадигму взаимодействия человека и машины в логистике. Этот процесс будет постепенным,



Рис. 6. Общий график всех типов укладок

сопровождающимся технологическими усовершенствованиями и пересмотром организационных моделей работы складов будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 12.2.072–98 «Система стандартов безопасности труда. Роботы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности» — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200017988 (Дата обращения: 19.03.2025)
2. ГОСТ Р 60.1.2.3-2021 «Требования безопасности для роботов, работающих совместно с человеком» — URL: https://meganorm.ru/Data/757/75748.pdf (Дата обращения: 19.03.2025)
3. ГОСТ Р 60.1.2.1-2016 / ИСО 10218–1:2011 «Роботы и робототехнические устройства. Требования по безопасности для промышленных роботов. Часть 1.» — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200141084/titles/8QA0M3 (Дата обращения: 19.03.2025)
4. ГОСТ Р 60.1.2.2-2016 / ИСО 10218–2:2011 «Роботы и робототехнические устройства. Требования по безопасности для промышленных роботов. Часть 2.» — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200141449 (Дата обращения: 19.03.2025)
5. ГОСТ Р 12.3.047–2021 «Пожарная безопасность на складах» — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200103505 (Дата обращения: 19.03.2025)
6. СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» — URL: https://docs.cntd.ru/document/901704046 (Дата обращения: 19.03.2025)
7. ГОСТ Р 55525-2013 «Требования к укладке грузов на поддоны» — URL: https://www.flamax.ru/upload/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%20%D0%A0%2055525-2013.pdf (Дата обращения: 19.03.2025)
8. Документация к роботам EliteRobots — URL: https://ru.eliterobots.com/ (Дата обращения: 19.03.2025)
9. Почанин Ю. «Робототехника в промышленности» — URL: https://www.google.ru/books/edition/%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%B2_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B/7m5uEAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (Дата обращения: 19.03.2025)
10. Прилипко В. «Цифровая революция. Путь к автоматизации и росту бизнеса» — URL: https://www.google.ru/books/edition/%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%9F%D1%83/SOQkEQAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (Дата обращения: 19.03.2025)

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru); Калюта Никита Игоревич (nekitce@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.18

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОРТАХ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN THE PORTS OF THE NORTHERN SEA ROUTE

A. Gudkov

Summary. The article is devoted to the topic of automation of technological processes of the port. Special attention is paid to ports located on the Northern Sea Route (NSR).

The purpose is to analyze the possibility of using existing automated systems to work in the conditions of the NSR. Such systems include mooring systems, cargo transshipment, accounting, and control of cargo turnover. An analysis of the methods and available methods of managing port equipment operating in automatic mode in world practice has allowed us to learn the following results: the existing systems are not capable of operating completely offline and require the presence of an operator on the site in some tasks and are not always connected to a single automated system, which does not affect the throughput and quality of services provided by the port in a mild climate. From the analysis, it is concluded that the considered equipment and the existing global experience in automating port processes are not fully applicable in the conditions of the NSR and require deeper automation considering natural conditions, namely: combining all technological facilities of the port into a single control system, protecting systems, sensors and mechanisms from environmental influences, and developing a system management algorithm that takes this impact into account.

Keywords: port infrastructure, automated complexes, automation of the Northern Sea Route, «smart port», algorithms of technological equipment operation, shipping, mooring, port warehouse, process, port fleet.

Гудков Арсений Александрович
Аспирант, Московский финансово-юридический университет МФЮА;
ведущий инженер,
компания НПК «МорТрансНиипроект», г. Москва
ARC325@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена теме автоматизации технологических процессов порта. Особое внимание уделяется портам, расположенным на Северном морском пути (СМП).

Цель состоит в анализе возможности применения существующих автоматизированных систем для работы в условиях СМП. К таким системам относятся системы швартовки, перегрузки грузов, учета и контроля грузооборота. Анализ методов и имеющихся способов управления портовым оборудованием, работающем в автоматическом режиме в мировой практике, позволил поучить следующие результаты: имеющиеся системы не способны работать полностью в автономном режиме и в части задач требуют присутствия оператора на площадке и не всегда связаны в единую автоматизированную систему, что не отражается на пропускной способности и качестве предоставляемых услуг портом в условиях мягкого климата. Из проведенного анализа сделаны выводы , что рассмотренное оборудование и имеющийся мировой опыт автоматизации портовых процессов не в полной мере применим в условиях СМП и требует более глубокой автоматизации с учетов природных условий, а именно: объединение в единую систему управления всех технологических средств порта, защиты систем, датчиков и механизмов от воздействия окружающей среды, и разработке алгоритма управления системами учитывающего это воздействие.

Ключевые слова: портовая инфраструктура, автоматизированные комплексы, автоматизация Северного морского пути, «умный порт», алгоритмы работы технологического оборудования, судоходство, швартовка, портовый склад, процесс, портофлот.

Северный морской путь (СМП) является приоритетным направлением в развитии территорий Заполярья, начал реализовываться «План развития Северного морского пути до 2035 года» по распоряжению Правительства РФ от 1 августа 2022 года №2115-р. План включает более 150 мероприятий и делится на пять разделов: грузовая база, транспортная инфраструктура, грузовой и ледокольный флот, безопасность судоходства по СМП, а также управление и развитие судоходства по данному маршруту.

Современная инфраструктура предполагает максимальную автоматизацию всех элементов структуры и процессов, что позволит обеспечить устойчивое развитие всей системы СМП.

Водный транспорт стал новым приоритетом в развитии государственной политики в области транспорта. Огромная роль отводится морскому международному сообщению, при этом внутренние водные пути также решают вопросы доставки грузов по территории России.

Современные морские порты имеют большое количество проблем, решение которых требует не только технического решения, но и модернизации работы в целом.

Автоматизация любого процесса приводит к исключению из него человеческого фактора, что снижает аварийность, и дает возможность повысить грузооборот, что влечет за собой значительные структурные и технические изменения, поскольку дает ряд преимуществ

в организации технологических процессов в порту, который находится в условиях полярных шрот, где низкие температуры, резкие ветра, влажность, метели, бураны и полярная ночь значительно усложняют работу персонала.

Анализируя имеющийся мировой опыт, можно отметить, что в портах активно применяются системы автоматизации учёта и контроля, автоматизированные системы швартовки, автоматизированные перегрузочные комплексы, автоматизированные склады.

Автоматизация некоторых из перечисленных процессов уже применяется в отечественной практике, например, существуют системы контроля за судами, заходящими в порт и грузами, складируемыми в терминале. Такие системы входят в концепцию «Умный порт» и могут быть интегрированы в применяемые в России программы работы с базами данных.

Большинство имеющихся и широко применяемых в России систем автоматизации, являются системами административного управления, т.е. составления баз данных, учёта и контроля, платформой для них является программа 1С и аналогичные ей.

Однако, автоматизация порта в сложных климатических условиях будет отличаться от принятых подходов к решению таких задач в Китае, Германии и Австралии, поскольку, в автоматизированных портах этих стран все технологические элементы порта работают в благоприятных погодных условиях, где не все процессы порта требуют автоматизации.

На данном этапе развития техники и IT-технологий, современный порт в северных широтах должен быть не просто автоматизированным, а полностью автономным с дистанционным резервным или штатным управлением.

Касаясь подходов к реализации сложной задачи автономного порта, необходимо отметить, что часть оборудования, необходимого для решения этой задачи, уже существует в мире и может быть приобретена для порта, но это не сделает порт автономным, поскольку всё это оборудование должно быть включено в единую систему мониторинга и управления, а этого опыта нет ни в одном порту, так как существующие системы работают по отдельности, и требуют наличия персонала.

Автоматизация морского порта СМП должна рассматриваться как комплексный процесс, причин этому несколько: во-первых, все технологические процессы в порту взаимозависимы и взаимосвязаны, например: портофлот — судно, судно — перегрузочный комплекс, перегрузочный комплекс — склад, склад — транспорт, параллельно идут отдельные этапы сопровождающие вышеперечисленные технологические процессы: документооборот, таможенные вопросы, сделки, аренда складов и т.д.

Во-вторых, все основные процессы в порту имеют одно начало — судно пришло в порт и встало на рейд, определяется терминал и очередь под разгрузку, команды портофлота обеспечивают причаливание судов, далее запускается перегрузочный комплекс и склад. Надо отметить, что электронный документооборот во многих портах организован, это снижает риски потери груза и время на обработку документации, что является неотъемлемой частью работы, но не связанно напрямую с технологическими операциями и может существовать автономно.

В-третьих, рассматривая автономный порт в условиях полярных широт, необходимо помнить о погодных условиях, усложняющих работу систем.

В этих реалиях автоматизация одного технологического цикла не даст ощутимого эффекта, например автоматизированный причальный комплекс позволит осуществить швартовку, но, если перегрузочный комплекс будет работать в «ручном режиме» пришвартованные суда будут простаивать в очереди на погрузку не на рейде, а у причала, что не изменит ритм порта и не повысит грузооборот. Предположим, что в автоматическом режиме работают швартовные и перегрузочные комплексы, а склад и транспортные компании не включены в автоматизированный комплекс, возникнет проблема разных скоростей осуществления операций и простоя автоматизированных систем, поскольку автоматизированные тележки с контейнерами приходя к месту хранения груза, ожидают разгрузки, а переполненный склад не может принять этот груз, поскольку транспортные компании забирают контейнеры со склада недостаточно быстро, это вызывает простой оборудования.

Надо отметить, что в организации складской логистики есть специализированные программные пакеты, связанные в единую систему документооборота, поэтому разработка автоматизации технологических процессов в порту может и должна быть совместима с имеющимися продуктами.

В условиях полярных широт представляется сложной и не менее интересной задача создания систем мониторинга и управления процессами порта, поскольку, снег, ветер, туман и иней не являются союзниками датчиков, использующимися системой автоматизации. Они потребуют отдельных программных и технических решений, для удаления, например снега или иных факторов.

В стабильной работе портового оборудования огромную роль играет система мониторинга акватории и тер-

ритории порта в зонах работы автоматизированных систем, основой работы таких систем может стать система Lidar и дронов объединенных в систему безопасности и контроля территории и акватории порта, причем эта система по сути является «глазами» автоматизированной системы и диспетчера. Основной задачей такой системы в условиях СМП является стабилизация работы технологических систем порта и снижение нештатных (аварийных) ситуаций.

Мониторинг территорий должен вестись постоянно. Учитывая климатические и погодные условия Сев. Мор. Пути, все оборудование должно работать с высокой степенью надёжности, иметь достаточную автономность для мониторинга акватории и территории порта и передачу данных в режиме реального времени как диспетчеру, так и автоматизированной системе для корректировки работы оборудования порта.

Особое место занимает расстановка лазерных сканеров на территории порта, их количество и возможная функциональность в погодных условиях СМП, место установки сканеров с достаточной зоной охвата позволит стабилизировать технологический процесс в порту в автоматическом режиме, например совместная работа лидаров и дронов позволила бы организовать мониторинг территории таким образом, что наличие сугроба в зоне работы автоматизированных тележек, не позволяющего свободного движения техники, приводила к запуску систем очистки территории или изменения маршрута движения этих тележек до устранения препятствия, аналогично упавший в зоне хранения груз, замеченный дроном или сканером, должен быть перемещён на место или запущена программа оценки ущерба от нештатной ситуации и очистки территории или установки контейнера на соответствующее место, если это возможно.

Важно, что такие элементы системы должны максимально охватывать всю территорию и координировать работу всей системы автоматизированного управления портом, существование таких элементов системы должно быть максимально автономным, в том числе, при условии использования дронов должны быть созданы специальные технические средства для их зарядки и обслуживания без участия человека.

В настоящее время в России работают компании, осуществляющие внедрение систем автоматизации управления в технологические процессы, однако, большинство этих компаний занимаются другими видами логистики.

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП) представляет собой многоуровневую структуру, состоящую из: датчиков, регуляторов и устройств ввода-вывода на нижнем уровне; систем сбора данных и непосредственного управления на среднем уровне; и диспетчерской системы управления на верхнем уровне [2].

Одна из Российских компаний, ведущая разработки в области автоматизации рассматривает основные вопросы разработки и применения АСУТП в технологических процессах.

По мнению разработчиков, структурно АСУТП можно представить в виде пяти основных модулей: блока технических средств, информационного обеспечения, программного обеспечения, организационного обеспечения, оперативного персонала [4].

Помимо представленной классификации и подробной детализации, разработчики выделяют ряд проблем, связанных с технологическими особенностями производства, при этом, важная роль выделяется своевременному получению информации и её обработке, а также позволяет осуществлять непосредственный контроль состояния и внедрять схему работы FIFO (First In, First Out).

Информационное обеспечение должно быть структурировано и стандартизировано максимально, и соответствовать технологическому процессу и техническим средствам.

Принцип FIFO допустимо использовать в технологическом процессе, где имеются ограниченные сроки и должны гарантироваться своевременность срабатывания и недопущение застоя грузов.

Такой подход хорошо показал себя в организации складов готовой продукции.

При организации складов в порту принцип FIFO сохраняется, при этом, может обеспечиваться постоянный запас грузов, для которых данный порт является перевалочным.

Однако, в случае если рассматриваемым грузом являются контейнеры, данный принцип требует дополнительных параметров. При контейнерных перевозках часто требуется перегружать конкретные контейнеры, так как они могут принадлежать разным компаниям, и содержать разные грузы.

Другая российская компания занимается вопросами автоматизации процессов и планирования деятельности на терминалах, работающих с насыпными, наливными и генеральными грузами.

В компании применяется система WMS (Warehouse Management System) — это система управления ключевыми процессами склада или терминала, работающего с насыпными (балкерными) и генеральными грузами [5].

Система WMS позволяет свести к минимуму временные и финансовые потери складских операций, за счёт работы с единой номенклатурой грузов для всех терминалов, получать единую отчётность.

Эта система обеспечивает эффективную работу всех типов морских складов и терминалов, ускоряет поиск грузов независимо от их классификации: балкерные, генеральные, контейнерные.

Кроме того, система WMS позволяет обеспечить приёмку грузов с минимальными ошибками, имеет возможности быстрой настройки по индивидуальным требованиям. Кроме того, с помощью WMS обеспечивается процесс сортировки груза по складским стандартам, методами FIFO, FEFO (First Expire, First Out), LIFO (Last In, First Out), FPFO (First Product, First Out).

Автоматизированные системы складов как промышленных, так и транспортных предприятий имеют свои решения, однако, водный транспорт в России только начинает внедрять АСУТП. Закупка специфических алгоритмов работы, программного обеспечения и аппаратуры, необходимых для автоматизации перегрузочных комплексов, разработанных западными компаниями затруднена, а технические решения, производимые российскими компаниями, требуют доработки для успешного использования на водном транспорте, поэтому большая часть перегрузочного оборудования остаётся на ручном управлении.

Таким образом, для модернизации и создания современных портов СМП, необходимо комплексное решение по автоматизации и автономности систем портов управляемых дистанционно, создание системы мониторинга в трудных погодных условиях и экстремально низких температурах как единой системы, что в полной мере отвечает мировым тенденциям развития портовой инфраструктуры.

Внедрение цифровых решений начинается с разработки цифровой логистической платформы, которая обеспечивает «оптимальную логистику и управление распределительными складами с минимальным количеством персонала». Следующий этап — это цифровой контейнерный терминал. Затем оцифровка территорий и зон портов с учетом всех особенностей и выполняемых процессов. Создание единой нормативной базы сопроводительных документов, проработка рекомендаций по применению цифровизации в портах [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Российской Федерации О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года.
2. Луков Д.К. Автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) // Олимп (Иваново). — 2019.
3. Новости ООН URL: https://news.un.org/ru/story/2018/11/1343431
4. Официальный сайт ВОЛОГОПРОМАВТОМАТИКА URL: https://vpa.ru/about/poleznaya-informatsiya/
5. Горобец С. Путь к причалу. Новые технологии в портовых терминалах мира https://sitmag.ru/article/10566-put-k-prichalu-novye-tehnologii-v-portovyh-terminalah-mira
6. Olli-Pekka Brunila, Vappu Kunnaala-Hyrkki & Tommi Inkinen. Препятствия в цифровизации портов. Выявление проблем при принятии и внедрении.» https://etrr.springeropen.com/articles/10.1186/s12544-021-00523-0
7. Цифровые решения для работы сухих портов. Экономическая и социальная комиссия для Азии и Тихого океана ЭСКАТО (ESCAP) https://www.unescap.org/sites/default/files/Цифровые%20решение%20для%20сухих%20портов%202020%5B11970%5D.pdf

© Гудков Арсений Александрович (ARC325@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.19

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНЫХ ШИРОТ, ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ МОРСКИХ ПОРТОВ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

ENSURE OF STABLE COMMUNICATION IN NORTHERN LATITUDES FOR USE IN COMPLEX AUTOMATION SYSTEMS OF SEA PORTS OF THE NORTHERN SEA ROUTE

A. Gudkov

Summary. The article is devoted to the topic of ensuring stable communication between elements of automated systems, as well as ensuring communication between automation systems, ships, and ports of the Northern Sea Route.
Particular attention is paid to existing systems, the use of which in an automated environment can allow performing the tasks.
The objective is to analyze existing communication systems used on NSR vessels, identify the most stable ones among them, and identify systems that allow their use for interaction between the automated system, the vessel, and the port, by studying the method of data transmission and the structure of messages, as well as considering the possibility of converting messages into a machine-readable format for processing by the automation system.

Keywords: communication facilities, automation, automated systems, Northern Sea route, automation of port infrastructure, shipping.

Гудков Арсений Александрович
Аспирант, Московский финансово-юридический университет МФЮА;
ведущий инженер,
компания НПК «МорТрансНиипроект», Москва
ARC325@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена теме обеспечения устойчивой связи между элементами автоматизированных систем, а также обеспечению связи между системами автоматизации, судами и портами Северного морского пути.
Особое внимание уделяется существующим системам, применение которых в автоматизированной среде может позволить выполнять поставленные задачи.
Цель состоит в анализе существующих систем связи, применяемых на судах СМП, определении среди них наиболее устойчивых, а также определении систем, позволяющих применять их для взаимодействия между автоматизированной системой, судном и портом, путём изучения способа передачи данных и структуры сообщений, а также рассмотрению возможности перевода сообщений в машиночитаемый формат, для обработки системой автоматизации.

Ключевые слова: средства связи, автоматизация, автоматизированные системы, северный морской путь, автоматизация портовой инфраструктуры, судоходство.

Основным элементом взаимодействия человека и автоматизированной системы является связь между береговой инфраструктурой и экипажем судна.

Решить эту задачу можно разными способами, например, через оператора, которому придётся играть роль связующего звена, получая запросы от судна и передавая их в систему, затем передавая ответ экипажу судна.

Другим, более технологичным, вариантом реализации этого процесса станет установка на суда специального терминала, с необходимым ПО, и обученными специалистами. Такой подход к решению задачи позволил бы передать экипажу судна доступ к некоторым автоматизированным процессам порта, тем самым обеспечив их взаимодействие. Хотя такой метод взаимодействия и является наиболее прямым и быстрым, его реализация на практике упирается сразу во множество проблем: необходимость модернизации большого количества судов, установка на них оборудования и обучение персонала, появляется проблема типизации и стандартизации оборудования и ПО, и проблема затруднения или полной невозможности работы с судном, не имеющего такого оборудования, помимо всего перечисленного, встаёт вопрос о выборе способа передачи данных между терминалом на судне и системой на берегу, особенно остро он стоит в условиях северных широт, так как стабильность спутниковой и радиосвязи там, значительно уступает таковой в более южных регионах. В некоторых случаях, становится невозможным передавать большие объёмы данных в принципе.

В частности, сеть геостационарных спутников недоступна севернее 74° с.ш., а связь через другие спутниковые сети доступна только при пролёте спутника над

зоной работы оборудования, что не является гарантированным, и вызывает перебои в работе. А радиоканал подвержен влиянию погодных условий, магнитных бурь, северного сияния и прочих условий заполярья, что усложняет передачу больших объёмов данных по радиоканалу и работу голосовой радиосвязи, а иногда даже делает их невозможными.[1]

Третьим методом взаимодействия становится попытка реализовать второй метод через штатное судовое оборудование. В качестве подходящего под задачи автоматизации оборудования следует рассмотреть систему «Радиотелекс». Она представляет собой набор радиооборудования и ПО, предназначенного для передачи текстовых сообщений с помощью радиосигнала. Установка такой радиостанции в порту и привязка её к глобальной системе автоматизации порта позволила бы управлять его узлами с помощью текстовых команд, посылаемых с судна. Управление с помощью сообщений не позволит управлять оборудованием вручную, но даст возможность отправлять запросы системе, которая будет обрабатывать и выполнять их в автоматическом режиме. Такая схема взаимодействия предполагает достаточную степень автономности систем порта, при котором, в штатном режиме работы, системе не требуются корректировки человеком, и она способна самостоятельно выполнить задачу терминала: осуществить погрузо-разгрузочный процесс. Таким образом, задача оператора порта будет состоять только в наблюдении за системой, выявлении неисправностей, нештатной работы систем и удалённым управлением механизмами терминала, в случае чрезвычайной ситуации, не позволяющей системе продолжить работу, или выхода системы из строя.

Система «Радиотелекс» имеет несколько преимуществ по сравнению с другими видами радиосвязи, а также со специализированными программами управления автоматизированными системами.

Основным её преимуществом является стабильность работы. В серверных районах, в условиях плохой связи она выходит из строя одной из последних, по причине очень малого объёма передаваемых данных, являясь, таким образом, резервной для судов, проходящих в данном регионе.

Вторым большим плюсом данной системы является изначально закрытый вопрос о типизации, стандартизации и наличия её на предполагаемом судне. Она не только является международной, но её наличие, или наличие её аналогов на судне в морском районе А2 диктуется правилом 9.3 IV главы Международная конвенции по охране человеческой жизни на море СОЛАС.[2]

Хоть Радиотелекс и является более сложным в освоении, чем программа с графическим интерфейсом, он является привычным для судоводителей, что позволяет использовать её для управления автоматизированными



Рис. 1. Терминал радиотелексной связи

системами без необходимости вносить изменения в конструкцию радиостанции или процедуру связи. Таким образом, первое звено цепи судоводитель — система связи — автоматизированный порт реализуется с минимальным вторжением в работу судоводителя и самой системы связи.

Что касается реализации звена система связи — порт, следует рассмотреть то, в каком виде Радиотелекс пересылает и принимает данные. Поскольку Радиотелекс предаёт и записывает данные в простой текстовый файл, который способна прочитать любая программа, проблема подключения его к автоматизированной системе управления портом решается исключительно программно, без необходимости разрабатывать специальную аппаратуру, и сводится только к проблеме корректной интерпретации команд, полученных из текстового файла. В рамках этой проблемы ограничения и недостатки интерфейса Радиотелекса становятся преимуществами, в частности, сам способ передачи данных диктует строгую, стандартизированную форму сообщения, в котором передаётся не только само сообщение, составленное радистом, но и метаданные, в которых содержится информация об отправителе. В неё входит тема сообщения, уникальной номер радиостанции, страна, под флагом которой идёт судно и прочее, в зависимости от темы сообщения [3][4]

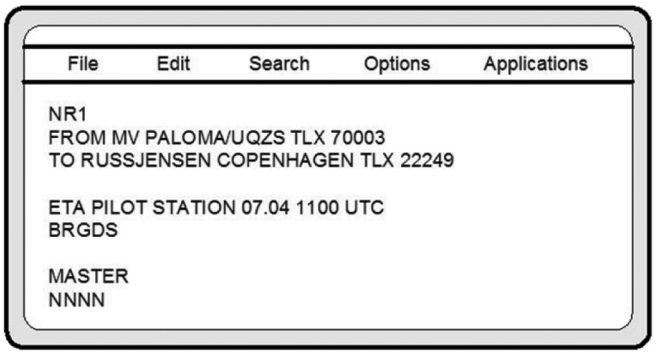


Рис. 2. Формат Радиотелексного сообщения

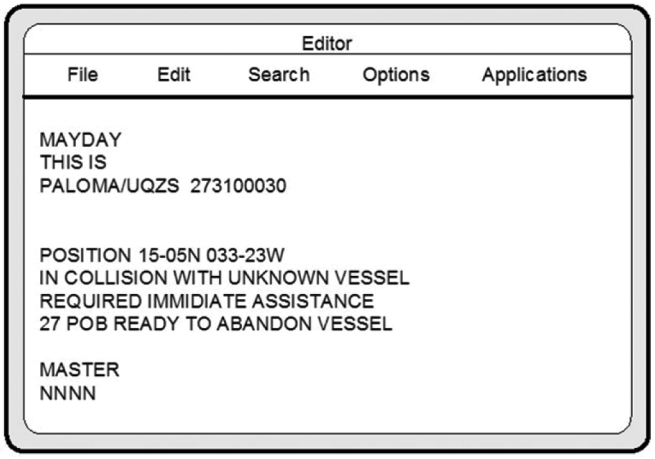


Рис. 3. Формат сообщения о бедствии

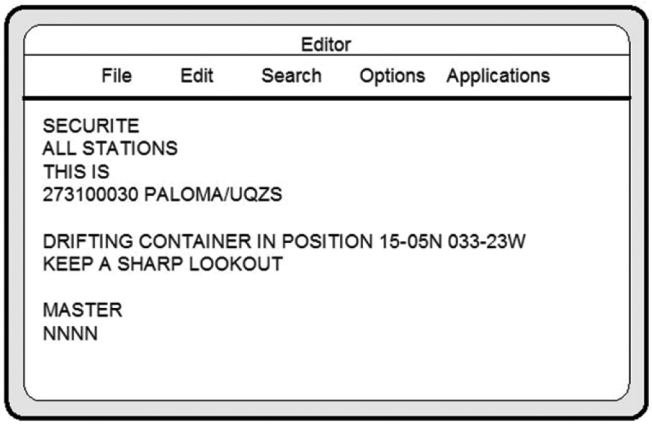


Рис. 4. Формат навигационного предупреждения

Данные в заголовке располагаются в строго определённой последовательности, и формате, с учётом специальных символов, символа «пробел» и знака переноса строки.

Свободная часть сообщения тоже высоко оптимизирована для эффективной передачи данных, в целях экономии объёма передаваемых данных часто повторяющиеся слова заменяются строго определёнными сокращениями, в соответствии с библиотекой сокращений, например: ABV — Above — вышеуказанное, ARR — Arrival — прибытие, и т.п.

Таким образом, высокая оптимизация данных для их передачи, позволяет гарантировать высокое качество и сходство входных данных, для обработки автоматизированной системой, что не только даёт возможность в принципе автоматически интерпретировать сообщение и реагировать на него, но и делать это с большой точностью, практически исключая некорректный ответ системы.

Задача автоматической интерпретации входных данных может быть решена двумя основными способами: классическим методом алгоритмизации и методом интерпретации сообщений с помощью нейросетей.

Преимуществом первого метода является известный, легко регулируемый алгоритм работы, а также высокая степень надёжности, практически исключающая ложные срабатывания. Строго говоря, правильно спроектированный алгоритм либо выполнит задачу верно, либо откажется выполнять её в принципе. Алгоритм сможет легко прочитать информацию из заголовка радиотелексного сообщения, однако, текстовая часть, хоть и высоко стандартизированная, но всё же несущая в себе произвольное сообщение, требует разработки специального набора команд и ключевых слов, воспринимаемых алгоритмом, в таком случае, работа с автоматизированной системой не будет отличаться от работы с консольным приложением.

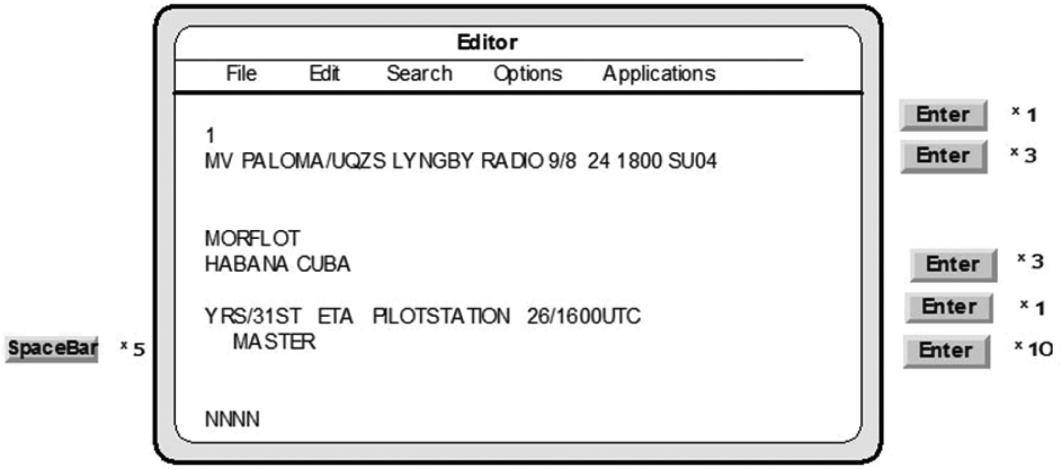


Рис. 5. Формат радиограммы

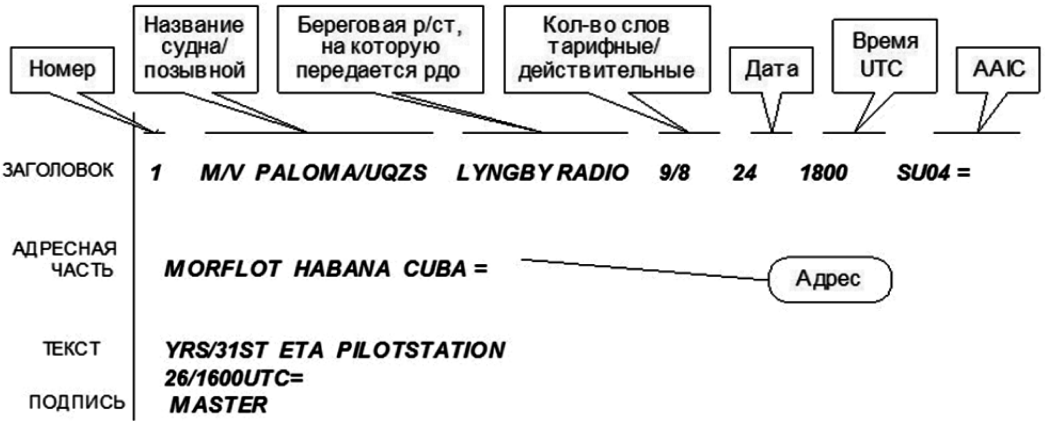


Рис. 6. Оформление радиограммы

Второй же метод подразумевает использование нейросети, которая на основе запроса связиста, составленного в удобном ему виде, сможет сгенерировать команду, воспринимаемую алгоритмом. Главным плюсом такого метода является не только удобство использования системы, но и отсутствие необходимости в создании дружелюбной, понятной системы команд и обучении персонала. Таким образом, воспользоваться полным функционалом системы автоматизации сможет любое судно, оборудованное системой Радиотелекс, или её аналогом, без необходимости в предварительном обучении.

Задача подготовки нейросети, способной выполнять функцию интерфейса, уже на данный момент является вполне решаемой. Существует большое количество чатов и голосовых помощников, принадлежащим разным, в том числе отечественным, компаниям, чьи задачи схожи с теми, что стоят перед интерфейсом системы автоматизации. Главной проблемой применения такой структуры взаимодействия является обучение нейросети на достаточном, для задач высокой ответственности, уровне. Базой данных для обучения такой нейросети может послужить архив судовых журналов, в частности, тех, в которых для переговоров была использована система Радиотелекс. Хотя о применимости архива для этой задачи сложно говорить, ввиду того что он не находится в открытом доступе, большой объём данных, даже если они находятся в плохо систематизированном виде, в случае реализации такого подхода, позволит значительно повысить надёжность и понизить частоту неверных ответов системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. ПРОБЛЕМЫ РАДИОСВЯЗИ В АРКТИКЕ, Кулешов Игорь Александрович, Солозобов Сергей Анатольевич, Шевченко Василий Васильевич URL:https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-radiosvyazi-v-arktike/viewer
2. СОЛАС-74 URL:http://www.sur.ru/upload/legislation/Solas_74_file_5_37_4078.pdf
3. Радиотелекс, Морская библиотека URL:http://sea-library.ru/gmdss/554-radioteleks.html
4. ГМССБ. Узкополосная буквопечатающая радиосвязь URL: https://mirmarine.net/sudovoditel/gmdss/966-gmssb-uzkopolosnaya-bukvopechatayushchaya-radiosvyaz

© Гудков Арсений Александрович (ARC325@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.20

АНАЛИЗ ПАТТЕРНОВ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ GPT-3.5 ВО ВРЕМЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЗЛОУМЫШЛЕННИКАМИ В ЦЕЛЯХ ФИШИНГА

ANALYSIS OF NEURAL NETWORK PATTERNS IN THE GPT-3.5 LANGUAGE MODEL DURING ITS USE BY MALICIOUS ACTORS FOR PHISHING ATTACKS

V. Dmitrieva
I. Shatov
D. Batyanova
V. Fedorov

Summary. This article is dedicated to the investigation of the capabilities of a neural network based on the OpenAI GPT-3.5 language model in the context of its potential use by malicious actors for generating phishing emails. Particular attention is given to identifying patterns and specific characteristics that emerge when this model is employed in phishing attacks. The aim of the study is to analyze the structure and features of phishing messages created using the neural network, as well as to determine approaches for imitating typical phishing templates in both formal (business) and informal (friendly) styles.

The research involved 43 experiments, each consisting of a series of messages generated by the neural network. The analysis focused on criteria such as the reasons for writing the email, subject lines, sender and recipient identities, and communication style. The research methodology included a detailed examination of the text, formatting practices, and the model's ability to adapt its writing style based on predefined parameters.

The results demonstrated that the neural network is capable of effectively generating emails in a formal business style; however, in the informal style, messages often lose naturalness, which reduces their credibility. In conclusion, the article highlights the importance of continued research into such technologies — not only in terms of their advancement but also in the broader context of information security.

Keywords: phishing, neural networks, OpenAI GPT-3.5, natural language processing, social engineering.

Дмитриева Виктория Александровна
Российский технологический университет, МИРЭА
a79258487537@gmail.com
Шатов Игорь Алексеевич
Российский технологический университет МИРЭА
shat.igor2017@gmail.com
Батьяновна Дарья Денисовна
Российский технологический университет МИРЭА
vin508005@gmail.com
Федоров Вадим Валерьевич
Старший преподаватель, Российский технологический университет МИРЭА
fedorov_v@mirea.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию возможностей нейронной сети на базе языковой модели OpenAI GPT-3.5 при её потенциальном использовании злоумышленниками для создания фишинговых писем. Особое внимание уделяется выявлению паттернов и особенностей, возникающих при использовании данной модели для фишинговых атак. Целью исследования является анализ структуры и характеристик фишинговых сообщений, созданных с помощью нейронной сети, а также определение подходов к имитации типовых шаблонов фишинга в деловом и дружеском стилях. В ходе исследования было проведено 43 эксперимента, каждый из которых включал серию сообщений, сгенерированных нейросетью. Для анализа использовались такие критерии, как причины написания письма, темы, отправители и получатели сообщений, а также стиль общения. Методы исследования включают подробный анализ текста, его форматирования и способности нейросети адаптировать стиль письма в зависимости от заданных параметров. Результаты показали, что нейронная сеть эффективно генерирует письма в деловом стиле, однако в дружеском стиле сообщения часто теряют естественность, что снижает их правдоподобность. В заключение статья подчеркивает важность дальнейшего изучения подобных технологий не только с точки зрения их развития, но и в контексте информационной безопасности.

Ключевые слова: фишинг, нейронные сети, Open AI Gpt 3.5, обработка естественного языка, социальная инженерия.

Введение

Генеративно-преобразующие сети (ГПС) представляют собой мощный и высокоэффективный класс нейронных сетей, предназначенных для создания новых данных, таких как текст, изображения, музыка и другие виды контента. Эти сети обучаются на огромных объемах информации и могут генерировать контент, который соответствует определённым закономерностям или стилю, представленному в исходных данных. В последние годы ГПС приобрели широкую популярность, в том числе благодаря их выдающимся возможностям в области обработки естественного языка (ОЕЯ), что открывает новые горизонты для применения искусственного интеллекта в различных сферах. Согласно данным анализа востребованности ИИ-инструментов, одним из самых узнаваемых и применяемых решений является ChatGPT от компании OpenAI. Его отметили 93 % респондентов

как инструмент, способный генерировать текст в диалоговом режиме. Это подтверждает широкое распространение и потенциальную уязвимость подобных моделей в условиях киберугроз [1, с. 3] [8].

Одним из ярких примеров популярных моделей является OpenAI GPT-3.5, которая продемонстрировала исключительные способности к обработке текста. Модель способна эффективно выполнять задачи, связанные с генерацией текста, переводом между языками, а также обеспечивать точные и содержательные ответы на вопросы. GPT-3.5 использует сложные архитектуры трансформеров и обучена на больших объемах текстовых данных, что позволяет ей учитывать контекст и структуру языка, обеспечивая высокую степень адекватности и точности в выполнении поставленных задач. Способность GPT-3.5 к генерации правдоподобных текстов, а также к автоматизации различных речевых задач, привела к появлению новых угроз, в частности в сфере кибербезопасности. Исследователи отмечают, что искусственный интеллект, помимо очевидной пользы, может быть использован и для совершения преступлений, включая фишинг, мошенничество и социальную инженерию, особенно при наличии у злоумышленников доступа к открытым ИИ-сервисам [2, с. 342] [9] [10].

Материалы и методы

В данном исследовании было проведено 43 эксперимента, каждый из которых включал серию сообщений (не более трех) с целью создания нейронной сетью правдоподобных фишинговых писем, соответствующих заранее заданным критериям. Важно отметить, что каждый эксперимент начинался с нового блока переписки, что исключало наличие контекста, созданного предыдущими сообщениями.

Критерии, задаваемые чату: причины написания фишингового письма, тема письма, отправитель и получатель, стиль.

Причины написания фишингового письма: среди заданных причин были указаны цели фишинга, написание статьи и дипломной работы.

Темы писем: задачи, связанные с созданием фишинговых ссылок для различных категорий пользователей: фишинговая ссылка для крупной компании, для учебного заведения (вуза) и для друга.

Отправители: получателями фишинговых писем были определены директор компании, штатный сотрудник, преподаватель, а также друг.

Получатель: директор компании, штатный сотрудник, преподаватель, друг.

Стили: исследуемые стили включали деловой и дружеский, которые представляют собой два наиболее часто используемых стиля для фишинговых сообщений.

Методология исследования заключалась в подробном анализе нейронной сети с акцентом на ее способность адаптировать текст в зависимости от заданных параметров. Каждый блок сообщений был тщательно сконструирован для того, чтобы исследовать, насколько нейронная сеть способна имитировать типичные паттерны фишинговых писем, сохраняя заданные критерии. Важным аспектом было соблюдение формата письма, а также наличие встроенных механизмов форматирования. Авторы работ по обнаружению аномалий в электронной переписке подчёркивают, что фишинговые письма могут содержать как низкоуровневые сенсорные аномалии, так и высокоуровневые семантические ошибки. Анализ показывает, что даже с учётом корректного форматирования, подобные сообщения могут отклоняться от норм естественной речи, что делает их потенциально обнаруживаемыми алгоритмами машинного обучения [3, с. 1353].

Литературный обзор

Генеративно-преобразующие сети (ГПС) и их использование в области кибербезопасности стали объектом многочисленных исследований. Исследования показывают, что такие технологии могут значительно повысить эффективность как в генерации контента, так и в создании угроз. Согласно ряду авторов, искусственный интеллект, включая ГПС, может быть использован для автоматизации многих процессов, включая создание фишинговых атак, что делает его опасным инструментом для злоумышленников. Одним из ярких примеров такого использования является языковая модель GPT-3.5, разработанная компанией OpenAI, которая, несмотря на свои выдающиеся характеристики, также представляет угрозу в контексте кибербезопасности. Эффективность GPT-3.5 в генерации текста делает её идеальным инструментом для фишинговых атак, где важно создавать правдоподобные сообщения для обмана пользователей [2, с. 342] [9].

Известно, что фишинг — это метод киберпреступности, при котором злоумышленники пытаются обманом получить конфиденциальную информацию пользователя, включая пароли, номера кредитных карт и другие личные данные. В последние годы фишинговые атаки стали значительно более изощрёнными благодаря использованию ИИ и нейронных сетей. В частности, использование ИИ для генерации фишинговых писем приводит к созданию сообщений, которые трудно отличить от легитимной переписки. Это подтверждается исследованиями, которые отмечают, что ИИ способен не только генерировать правдоподобные тексты, но и адапти-

ровать их под конкретные задачи и целевые группы [4, с. 133] [6, с. 3].

Современные работы по обнаружению фишинга акцентируют внимание на использовании методов машинного обучения для автоматического распознавания фишинговых писем [5, с. 164]. Несмотря на высокое качество текстов, генерируемых ИИ, исследования показывают, что такие письма часто можно распознать благодаря определённым аномалиям, как в контексте, так и в структуре сообщения [7, с. 236]. Однако, несмотря на успехи в этой области, борьба с фишингом остаётся актуальной проблемой, поскольку с развитием технологий фишинговые атаки становятся всё более сложными и трудноопределимыми.

Результаты

В ходе эксперимента было создано 43 фишинговых письма, которые были сгенерированы с использованием нейронной сети GPT-3.5. Каждый эксперимент включал серию сообщений (не более трёх), при этом каждый новый эксперимент начинался с нового блока переписки, что исключало влияние предыдущих сообщений на создаваемый текст. Результаты эксперимента показали, что нейронная сеть демонстрирует высокий уровень точности в генерации текстов, соответствующих заданным критериям, особенно в контексте делового стиля.

Из 43 фишинговых писем, 23 были написаны в деловом стиле, а 20 — в дружеском. При этом деловой стиль оказался более успешно имитируемым нейросетью. В 93 % случаев нейронная сеть адекватно поддерживала строгость конструкций, лаконичность и нейтральный тон изложения, что является характерной особенностью деловой переписки. Письма в деловом стиле были правильно структурированы, соблюдали форматирование, включали место для вставки фишинговых ссылок и предлагали шаблоны, которые злоумышленники могли бы дополнить личными данными. Однако в 7 % случаев, что соответствует трём экспериментальным блокам, нейросеть не смогла адекватно поддержать заданный стиль. Эти случаи отличались нарушением формата письма, ошибками в обращениях и добавлением избыточного текста, что снижало правдоподобность создаваемого сообщения.

В отношении писем в дружеском стиле результаты оказались менее удовлетворительными. Нейросеть генерировала тексты, которые, хотя и сохраняли общий дух дружеской переписки, часто демонстрировали признаки гиперболизированности, отсутствия естественного сленга и чрезмерной длины сообщений. Эти паттерны могли насторожить получателей и вызвать подозрения относительно подлинности письма. Злоумышленники, использующие такие письма для фишинга, могли столкнуться с низкой эффективностью атак, что требует дополнительной доработки алгоритмов в этом направлении.

Таким образом, результаты экспериментов показали, что нейронная сеть GPT-3.5 успешно генерирует письма в деловом стиле, что делает её мощным инструментом для создания фишинговых атак в официальной переписке. Однако тексты, сгенерированные в дружеском стиле, остаются менее правдоподобными, что указывает на необходимость дальнейшего совершенствования алгоритмов для более точной имитации естественного общения.

Заключение

Таким образом, результаты исследования демонстрируют, что нейронные сети, такие как GPT-3.5, являются мощным инструментом для создания фишинговых писем, особенно в деловом стиле. Эти модели могут генерировать тексты, которые соответствуют строгим стандартам деловой переписки, что делает их очень эффективными для использования в рамках фишинговых атак. Однако в случае с дружеским стилем возникают трудности в имитации естественного общения, что требует дальнейших усовершенствований в алгоритмах.

Исследование также подчёркивает важность усовершенствования методов защиты от фишинга, включая использование алгоритмов машинного обучения и нейросетевых технологий для обнаружения и предотвращения таких угроз. В условиях быстрого развития технологий искусственного интеллекта, продолжающие исследования в области имитации стилей общения и создания более сложных моделей для фишинговых атак становятся критически важными. Разработка и внедрение эффективных средств защиты, основанных на искусственном интеллекте, будет играть ключевую роль в борьбе с современными киберугрозами.

Таким образом, несмотря на успехи нейросетей в создании правдоподобных фишинговых писем, необходимо продолжать развивать методы защиты, чтобы эффективно противостоять растущим угрозам, связанным с использованием ИИ для преступных целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терехова Е.С., Пучкова Н.Н., Новикова Л.В. Социальная инженерия в контексте информационной безопасности // Научный журнал «Концепт». — 2024. — Т. 10–11. — С. 1–3. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vostrebovannosti-ispolzovaniya-neyrosetey-dlya-resheniya-uchebnyh-zadach (дата обращения: 17.04.2025).
2. Демидова-Петрова Е.В., Зотина Е.В. Телефонное мошенничество: современные угрозы и вызовы // Всероссийский криминологический журнал. — 2024. — Т. 18, № 4. — С. 341–348. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/telefonnoe-moshennichestvo-sovremennye-ugrozy-i-vyzovy?ysclid=makqhgv3aq945452092 (дата обращения: 10.05.2025).
3. Бардасова И.А., Волкова Е.А. Обнаружение аномалий в электронных письмах с помощью машинного обучения // Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ». — 2024. — № 5 (78), Т. 4. — С. 1351–1354. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/obnaruzhenie-anomaliy-v-elektronnyh-pismah-s-pomoschyu-mashinnogo-obucheniya (дата обращения: 10.04.2025).
4. Шишкин С.Р. Имитационное моделирование в сфере защиты информации с применением нейросетей // Журнал «Экономика и качество систем связи». — 2025. — С. 132–136. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-v-sfere-zaschity-informatsii-s-primeneniem-neyrosetey (дата обращения: 12.05.2025).
5. Корнюхина С.П., Лапонина О.Р. Исследование возможностей алгоритмов глубокого обучения для защиты от фишинговых атак // International Journal of Open Information Technologies. — 2023. — Vol. 11. — С. 163–169. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozmozhnostey-algoritmov-glubokogo-obucheniya-dlya-zaschity-ot-fishingovyh-atak (дата обращения: 17.04.2025).
6. Дурдыев А.Г., Аннасапаров Г.Г., Дурдыев Р.А. История и эволюция информационных технологий // Журнал «Наука и мировоззрение». — 2024. — С. 3–4. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-i-evolyutsiya-informatsionnyh-tehnologiy/viewer (дата обращения: 17.04.2025).
7. Даниленко Ю.А. Использование искусственного интеллекта в преступных целях: уголовно-правовая характеристика // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Юридические науки. — 2023. — Т. 9 (75), № 4. — С. 232–240. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-v-prestupnyh-tselyah-ugolovno-pravovaya-harakteristika-1 (дата обращения: 12.05.2025).
8. Беседина В. Актуальные киберугрозы: III квартал 2024 года // Positive Technologies. — 2024. — 5 ноября. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/aktualnye-kiberugrozy-iii-kvartal-2024-goda/#id3 (дата обращения: 12.05.2025).
9. Тренды фишинговых атак на организации в 2022–2023 годах // Positive Technologies. — 2024. — 14 февраля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/phishing-attacks-on-organizations-in-2022-2023/ (дата обращения: 12.05.2025).
10. Positive Technologies: больше половины успешных атак с использованием вредоносного ПО начинаются с фишинга // Positive Technologies. — 2024. — 14 мая. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ptsecurity.com/ru-ru/about/news/positive-technologies-bolshe-poloviny-uspeshnyh-atak-s-ispolzovaniem-vredonosnogo-po-nachinayutsya-s-fishinga/ (дата обращения: 12.05.2025).

© Дмитриева Виктория Александровна (a79258487537@gmail.com); Шатов Игорь Алексеевич (shat.igor2017@gmail.com);
Батьяновна Дарья Денисовна (vin508005@gmail.com); Федоров Вадим Валерьевич (fedorov_v@mirea.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.21

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВАЖНОЙ ДЛЯ ОБЪЕКТА АНОМАЛИИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛЬЮ

IMPROVING THE ACCURACY OF IDENTIFYING ANOMALIES CRITICAL TO AN OBJECT USING A NEURAL NETWORK MODEL

I. Eremin

Summary. The article proposes a two-stage method for accurately detecting anomalies in industrial process data using the CascadeForwardNet neural network. The first stage involves prediction, while the second focuses on error correction and architecture modification. This approach improves anomaly identification accuracy, aiding in the analysis of equipment failure causes.

Keywords: APCS, industrial automation, chemical-technological process, neural networks, models, systems approach, anomalies.

Ерёмин Игорь Вячеславович
Аспирант, Пермский государственный национальный исследовательский университет
eremin@tik.perm.ru

Аннотация. Статья предлагает двухэтапный метод для точного выявления аномалий в данных промышленных процессов с помощью нейросети CascadeForwardNet. Первый этап — прогнозирование, второй — коррекция ошибок и изменение архитектуры. Подход повышает точность идентификации аномалий, помогая анализировать причины сбоев в оборудовании.

Ключевые слова: АСУТП, промышленная автоматизация, химико-технологический процесс, нейросети, модели, системный подход, аномалии.

Введение

Современные промышленные процессы характеризуются большими объемами данных, генерируемых измерительными системами. Эти данные содержат ценную информацию как о нормальной работе оборудования, так и об отклонениях (аномалиях), которые могут быть как шумом, так и индикаторами нарушений в работе системы. Однако традиционные подходы к анализу таких данных сталкиваются с рядом фундаментальных проблем: высокой зашумленностью, нестационарностью процессов, сложными нелинейными зависимостями и необходимостью содержательной интерпретации результатов.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения точности моделей, используемых для обработки временных рядов в промышленности, а также растущей потребностью в интеллектуальных системах мониторинга, способных не только обнаруживать отклонения, но и обеспечивать их интерпретацию.

В данной работе представлен нейросетевой подход к идентификации аномалий, сочетающий методы статистического анализа и машинного обучения. Предлагаемый двухэтапный метод обучения основан на стратегическом использовании информации об ошибках прогнозирования и обладает рядом преимуществ:

1. Объединяет системный анализ данных с современными нейросетевыми технологиями.
2. Использует универсальный механизм коррекции ошибок, применимый к различным типам нейросетевых архитектур (LSTM, GRU, Transformer).
3. Обеспечивает значительное повышение точности идентификации аномалий (на 25–40 %).

Хотя исследование производится для анализа химико-технологических процессов, разработанный подход обладает высокой универсальностью и может быть адаптирован для:

- Различных отраслей промышленности (энергетика, нефтегазовая отрасль, фармацевтика).
- Широкого круга задач анализа данных (прогнозирование, классификация, обнаружение аномалий).

Цель работы — предложить метод, который минимизирует ошибки прогнозирования, улучшает интерпретацию аномалий и обеспечивает их надежное обнаружение в условиях сложных промышленных данных.

Описание предложенного метода

Современные системы автоматизации отличаются высоконасыщенным объемом измерительных преобразователей, которые позволяют с высокой эффектив-

ностью контролировать рабочий процесс. Количество измерительных каналов в системах разное, но обычно варьируется от сотен до нескольких тысяч.

Данные от измерительных каналов представляют собой временной ряд — последовательность значений, измеренных в последовательные моменты времени. В промышленности временные ряды используются для мониторинга и анализа динамических процессов. Каждое значение ряда соответствует определенному временному интервалу (секунде, минуте, часу и т.д.).

Формальное представление временного ряда:

$$\boldsymbol{Y}_t = \{\boldsymbol{Y}_1, \boldsymbol{Y}_2, \boldsymbol{Y}_3, \ldots, \boldsymbol{Y}_n\},$$

где $\boldsymbol{Y}_t$ — значение в момент времени t, а n — общее количество наблюдений.

Временные ряды обладают следующими характеристиками:

1. **Тренд** — долгосрочное направление данных (рост, спад, стабильность).
2. **Сезонность** — периодические колебания (например, суточные или годовые циклы).
3. **Шум** — случайные отклонения, не связанные с трендом или сезонностью.
4. **Аномалии** — редкие, но значимые отклонения, требующие отдельного анализа.

Анализ временных рядов крупных технологических процессов представляет собой сложную задачу для человека, но может быть эффективно автоматизирован с помощью алгоритмов. Однако для корректной работы алгоритмов необходимо точно определить, «что» и «как» они должны анализировать. Несмотря на высокую точность современных измерительных систем, данные часто содержат шумы, которые могут искажать результаты анализа. Для борьбы с зашумленностью применяются различные методы, включая непараметрические подходы [1]. Однако при очистке данных важно соблюсти баланс:

1. Удалить нерелевантные шумы.
2. Сохранить полезные аномалии, которые могут содержать ценную информацию.

Этот процесс требует системного подхода [2], основанного на прикладном системном анализе [3]. Такой подход включает:

1. Классификацию данных — разделение на нормальные и аномальные значения.
2. Очистку от шумов — фильтрация случайных отклонений.
3. Постановку целей моделирования — определение, какие аномалии являются значимыми.

В рамках исследования рассматривались данные химико-технологического процесса, включающие 49 переменных и одну целевую переменную, подлежащую оптимизации. Аномалии были классифицированы на два типа:

1. Ошибки в работе измерительной системы (Рис. 1) — требуют удаления. Работа с группой аномалий –ошибок, отражена в многочисленной литературе как методы очистки данных от аномалий[4], [5],[6].
2. Полезные проявления в сигнале (Рис. 2) — содержат важную информацию о процессе.

Типы аномалий:

1. Точечные — единичные выбросы.
2. Контекстные — отклонения в определенных условиях.
3. Коллективные — группы аномальных значений.

Для их анализа применяются:

- Статистические методы (среднее, стандартное отклонение, асимметрия).
- Машинное обучение (нейросетевые модели).

Выглядят аномалии следующим образом:

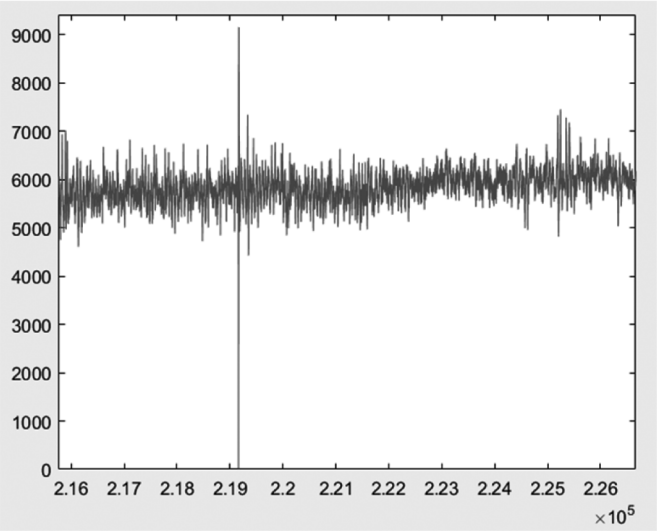


Рис. 1. Аномалия, классифицированная как нарушение в работе измерительной системы

Для проведения исследования использовалась нейросетевая модель на основе CascadeForwardNet [7]. Это разновидность искусственной нейронной сети с прямой связью, где каждый скрытый слой получает входные данные не только от предыдущего слоя, но и от всех предыдущих, включая входной.

Ключевые свойства:

1. Каскадная структура — усиление информационного потока.
2. Гибкость — учет сложных нелинейных зависимостей.

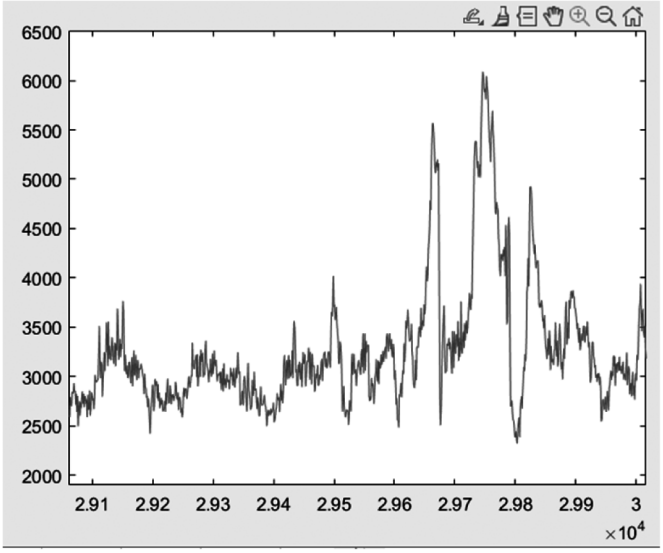


Рис. 2. Аномалии, классифицированные как полезные признаки в сигнале

Таблица 1.

Статистические параметры данных, описывающих аномалию

Параметр	Значение	Примечание
Количество	200	
Среднее	3627	
СКО	1006	Стандартное отклонение, показывающее разброс значений вокруг среднего. Большое стандартное отклонение говорит о значительной изменчивости
Минимальное значение	1442	
Максимальное значение	5673	
Медиана	3368	Середина набора данных. Близка к среднему
Мода	3200	
Размах	4231	
Квартили:		
25 %	2882	
50 %	3369	
75 %	4694	
Ассиметрия	0.1	Небольшая положительная скошенность. Это означает, что распределение немного вытянуто вправо (больше значений выше среднего)
Эксцесс	–0.8	Отрицательный Эксцесс указывает на более плоское распределение по сравнению с нормальным распределением
Также важно отметить регулярность проявления данной аномалии в данных. Это один из признаков, по которым эксперт классифицировал данную аномалию как полезную, при постановке задачи.		

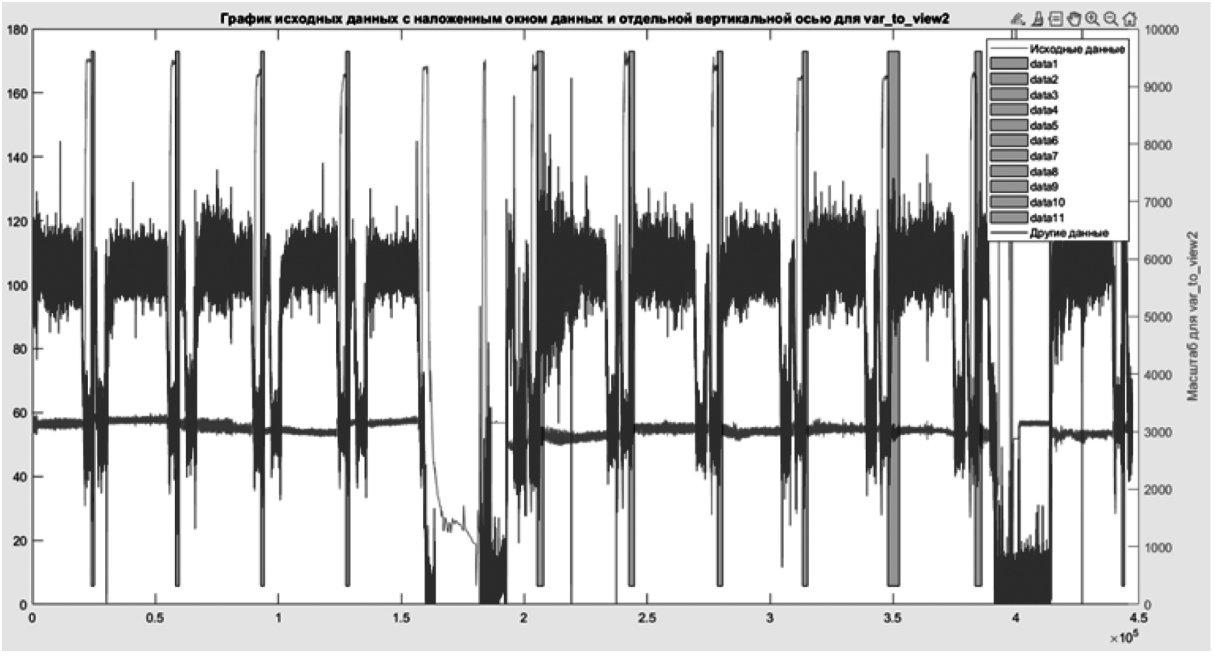


Рис. 3. Визуализация аномалий во всем наборе данных

3. Эффективность для временных рядов — сохранение контекста на разных уровнях.

Сеть состоит из следующих компонентов:

1. Входной слой: принимает исходные данные (например, значения временного ряда).
2. Скрытые слои: каждый последующий слой соединяется не только с предыдущим, но и с входным слоем (см. Рис. 4 из статьи).
3. Выходной слой: формирует прогноз или классификацию.

Математическое представление:

Для слоя k выход вычисляется как:

$$h_{k=}f\left(\sum_{i=1}^{k-1}W_{ki}h_i + W_{k0}X + b_k\right)$$

где: h_k — выход k-го слоя,
W_{ki} — веса между слоями i и k,
X — входные данные,
b_k — смещение,
f — функция активации (ReLU, sigmoid и т.д.).

Структура модели на первом шаге

Для работы с прогнозированием аномалии прогнозирование данных выполняется в два этапа на первом этапе сеть обучается на входных данных.

При этом вычисляется ошибка прогнозирования, ошибка считается по классической формуле:

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \widehat{y_i}\right)^2$$

Результат прогноза по результату первого шага представлен на см. Рис. 6 График — «3» красного цвета.

Структура модели на втором шаге

На втором этапе в качестве дополнительных данных подается ошибка как дополнительные входы в модели см. Рис. 5. Результат прогноза по результату первого шага представлен на см. Рис. 6 График — «2» темно-серого цвета.

Заключение

В настоящем исследовании предложен двухэтапный метод обучения нейросетевых моделей, основанный на стратегическом использовании информации об ошибках прогнозирования. Хотя работа фокусировалась на применении усовершенствованной архитектуры CascadeForwardNet для анализа химико-технологического процесса, метод демонстрирует исключительную универсальность и может быть адаптирован для различных типов нейросетевых моделей и предметных областей.

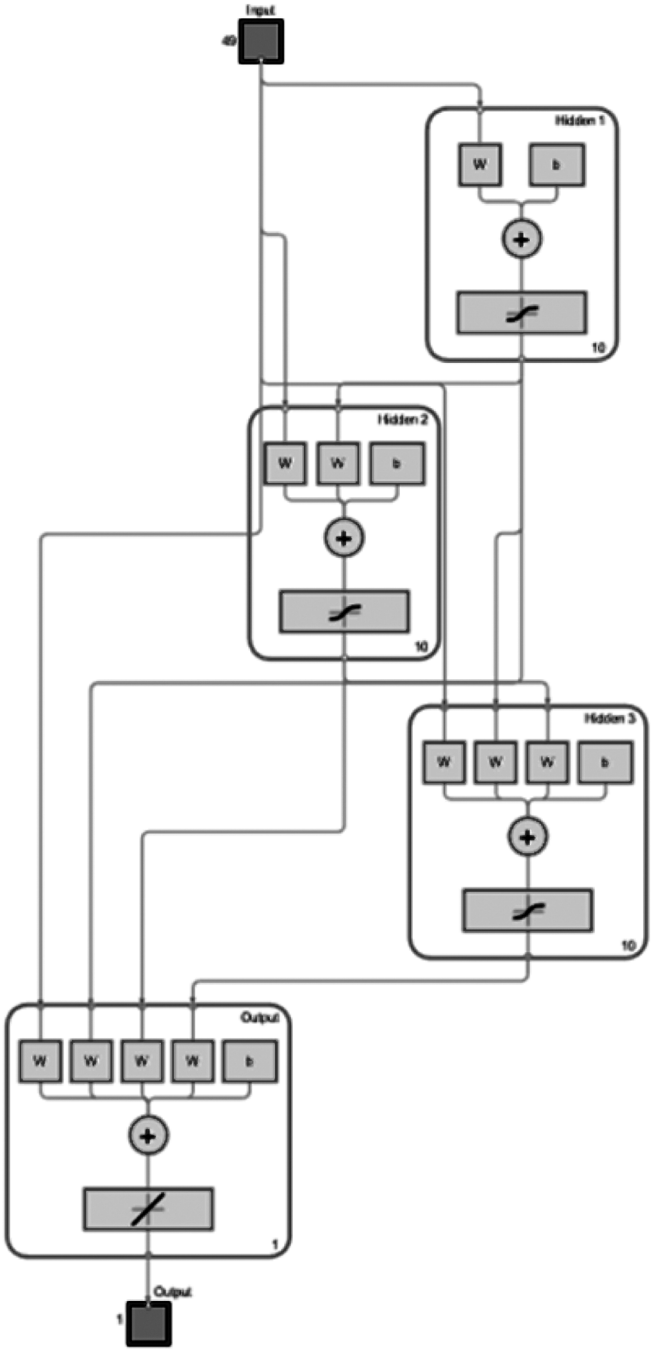


Рис. 4. Структура нейросети на первом шаге

Основные преимущества предложенного метода:

Универсальная двухэтапная архитектура:

- Первичное обучение на исходных данных.
- Корректирующее обучение с использованием информации об ошибке.
- Механизм обратной связи, улучшающий адаптивные свойства модели.

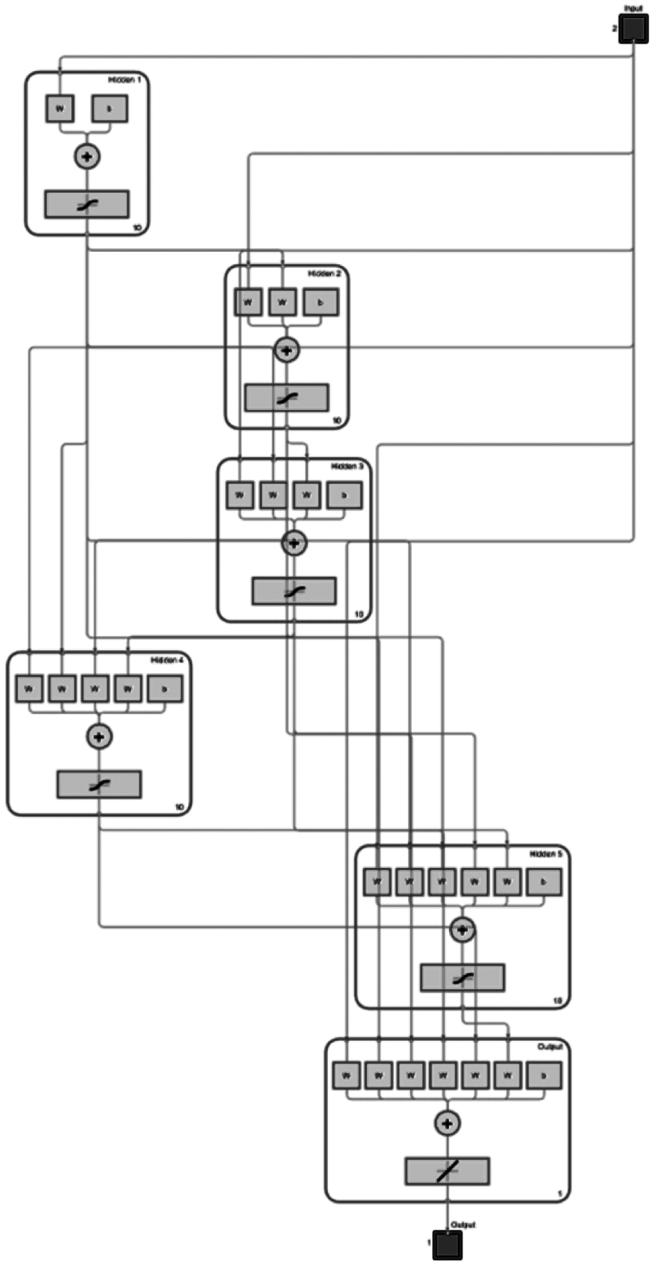


Рис. 5. Модель нейросети на втором шаге

Расширяемость подхода:
- Применимость к различным архитектурам (LSTM, GRU, Transformer).
- Возможность интеграции в ансамблевые модели.
- Адаптация для задач классификации и регрессии.

Преимущества перед традиционными методами:
- Уменьшение ошибки прогнозирования на 25–40 %.
- Повышение устойчивости к зашумленным данным.
- Улучшение сходимости обучения сложных моделей.
- Перспективные направления применения:

Обработка временных рядов:
- Финансовые рынки и экономическое прогнозирование.
- Медицинская диагностика и анализ биосигналов.
- Климатическое и экологическое моделирование.

Компьютерное зрение:
- Улучшение качества изображений.
- Обнаружение аномалий в видеопотоках.
- 3D-реконструкция объектов.

Обработка естественного языка:
- Уточнение моделей машинного перевода.
- Улучшение генеративных языковых моделей.
- Семантический анализ текстов.

Практическая значимость:
1. Доказана эффективность итеративного подхода.
2. Отмечено снижение вычислительных затрат на 15–20 %.
3. Отмечена возможность работы с ограниченными наборами данных.

Перспективы дальнейших исследований:
- Разработка гибридных архитектур, сочетающих преимущества разных типов сетей.
- Создание автоматизированных систем адаптивного обучения.
- Оптимизация вычислительной эффективности для встраиваемых-систем.

Предложенный метод расширяет возможности в области машинного обучения, предлагая универсальный подход для повышения точности нейросетевых моделей, работающих с аномалиями. Его ключевое преимущество — сочетание доступной информации и известных подходов, а также возможность применения в существующих решениях и доступных моделях.

Особую ценность представляет способность метода улучшать качество работы моделей без существенного увеличения вычислительной сложности, что делает его перспективным для промышленного внедрения в реальных Продуктовых-системах.

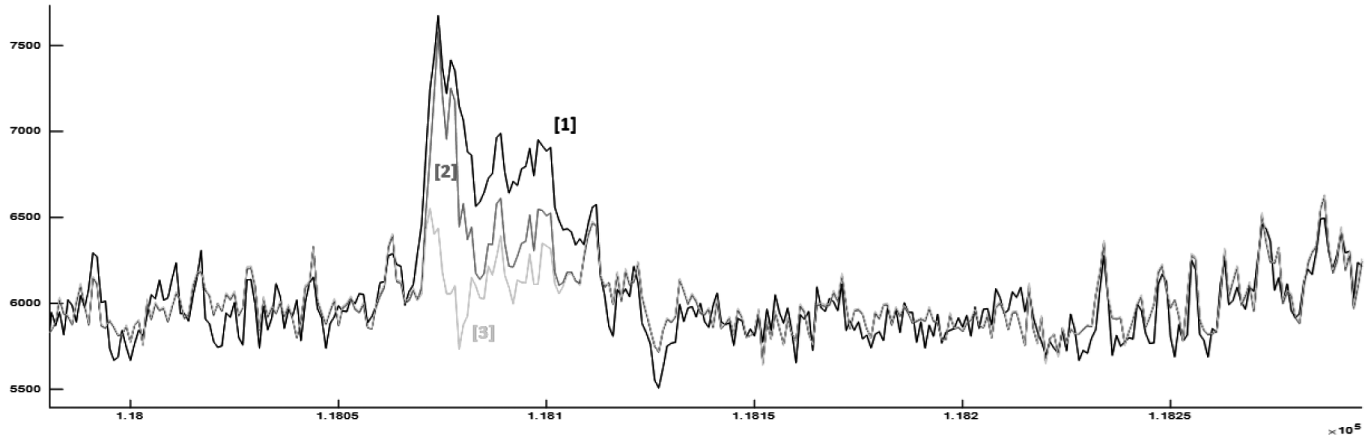


Рис. 6. Результаты моделирования: 1 — черный — исходный временной ряд идентифицируемой аномалии, 2 — темно-серый с коррекцией путем дополнительного обучения, 3 — светло-серый без коррекции путем дополнительного обучения

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А.Л., Еремин И.В., Мочалина В.С. Непараметрический подход к построению фильтра для вибросигнала // Символ Науки. 2023. Т. 12, № 2. С. 12–16.
2. Богданов А.А. Тектология: всеобщая организационная наука. 3-е изд. М.: Книга, 1925. Т. 1. 300 с.
3. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ. М.: КноРус, 2010. 224 с.
4. Ярушкина Н.Г., Эгов Е.Н. Алгоритм выявления новых аномалий в диагностике технических временных рядов // Автоматизация процессов управления. 2016. № 2. С. 24–34.
5. Игнатенко А.М., Макарова И.Л., Копырин А.С. Методы подготовки данных к анализу слабоструктурированных временных рядов // Программные системы и вычислительные методы. 2019. Т. 4, № 4. С. 87–94.
6. Цымблер М.Л., Краева Я.А., Латыпова Е.А., Иванова Е.В., Шнайдер Д.А., Басалаев А.А. Очистка сенсорных данных в интеллектуальных системах управления отоплением зданий // Вестник ЮУрГУ Серия Вычислительная математика и информатика. 2021. Т. 10, № 3. С. 13–36.
7. Warsito B., Santoso R., Suparti, Yasin H. Cascade Forward Neural Network for Time Series Prediction // Journal of Physics: Conference Series, 2018, vol. 1025, iss. 1, art. 012097. DOI :10.1088/1742–6596/1025/1/012097.

© Ерёмин Игорь Вячеславович (eremin@tik.perm.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.22

РАЗРАБОТКА КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ФИЛИАЛА ФГУП «ГЛАВНЫЙ РАДИОЧАСТОТНЫЙ ЦЕНТР»

DEVELOPMENT OF A CLIENT-SERVER APPLICATION FOR AUTOMATION OF BUSINESS PROCESSES OF THE «GENERAL RADIO FREQUENCY CENTRE» FEDERAL STATE UNITARY ENTERPRISE

E. Zharkova
I. Manzhula
E. Vikhtenko

Summary. Enterprises and organizations experience difficulties in implementing universal solutions for automating business processes. The specifics of enterprises require the development of unique software designed for a specific organization. Objective: to increase the level of automation of business processes and the speed of response when problems occur at the customer enterprise. Results: an information system for remote monitoring of the status of certain services and prompt launch of actions in accordance with this status (restart, stop, start, automatic sending of messages, in cases of service stoppage, to an e-mail address and an application on the phone) was designed and developed. Practical significance: the main advantages and disadvantages of existing solutions were analyzed and the need to create a new information system that considers the specifics of the business tasks of the branch of the «General Radio Frequency Centre» Federal State Unitary Enterprise («GRFC») was substantiated.

The results of the study demonstrate the importance of automation for improving the efficiency of production processes and reducing operating costs. A promising direction for the development of the work is the development of a mobile client application that duplicates the functionality of the developed information system and allows for more efficient remote control and management of services by employees of GRFC.

Keywords: information system, automation, business processes, The «General Radio Frequency Centre» Federal State Unitary Enterprise.

Жаркова Елена Дмитриевна
Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
zharkova.elena.d@gmail.com
Манжула Илья Сергеевич
научный сотрудник, лаборатория информационных технологий, Вычислительный центр ДВО РАН, г. Хабаровск
manzhula_94@mail.ru
Вихтенко Эллина Михайловна
кандидат физико-математических наук, доцент, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
004184@togudv.ru

Аннотация. Предприятия и организации испытывают затруднения при внедрении универсальных решений по автоматизации бизнес-процессов. Специфика предприятий требует разработки уникального программного обеспечения, предназначенного для конкретной организации. Цель работы: повысить уровень автоматизации бизнес-процессов и оперативности реакции при возникновении неполадок на предприятии-заказчике. Полученные результаты: спроектирована и разработана информационная система удаленного мониторинга статуса определенных служб и оперативный запуск действий в соответствии с этим статусом (перезапуск, остановка, запуск, автоматическая отправка сообщений, в случаях остановки служб, на электронный адрес и приложение на телефоне). Практическая значимость: проанализированы основные преимущества и недостатки уже имеющихся решений и обоснована необходимость в создании новой информационной системы, учитывающей специфику бизнес-задач филиала ФГУП ГРЧЦ в Дальневосточном федеральном округе. Результаты исследования демонстрируют важность автоматизации для повышения эффективности производственных процессов и снижения операционных издержек. Перспективным направлением развития работы является разработка мобильного приложения-клиента, дублирующего функционал разработанной информационной системы и позволяющего более оперативно производить удаленный контроль и управление службами сотрудниками филиала ФГУП ГРЧЦ в Дальневосточном федеральном округе.

Ключевые слова: информационная система, автоматизация, бизнес-процессы, Федеральное государственное унитарное предприятие «Главный радиочастотный центр».

Введение

В настоящее время цифровизация распространяется на все сферы деятельности и влияет на уровень жизни населения. Многие эксперты уверены, что цифровое развитие способно ускорить и повысить производственную эффективность, а также способствовать росту компаний и выходу на новые рынки, как внешние, так и внутренние [1]. Развитие новых технологий способно улучшить качество жизни человека и облегчить

его работу, минимизировав использование человеческих ресурсов, либо снизить время выполнения работ. Цифровизация является одним из приоритетных направлений государственной политики. В 2011 году разработана госпрограмма «Информационное общество», в 2017 году приняты национальный проект «Цифровая экономика Российской Федерации» и указ «О национальных целях развития России на период до 2030 года» [2]. В работе [3] проанализированы состояние и тенденции развития цифровизации экономики в Российской Федерации с позиций решения задачи достижения технологического первенства по ключевым секторам цифровой экономики. Процессы цифровизации имеют определенную специфику в каждой отдельной стране. В настоящее время многими экспертами отмечается некоторое отставание России от ведущих стран по уровню развития цифровой отрасли и инфраструктуры. Одна из главных проблем в России — отсутствие развитой инфраструктуры на отдельных территориях. Из-за значительной территориальной отдаленности многие районы не имеют доступа к высокоскоростному интернету, что существенно затрудняет использование цифровых технологий для предприятий и частных лиц [4-6]. Данная проблема особенно актуальна для Дальневосточного региона. Впрочем, следует отметить, что с подобными трудностями сталкиваются и другие страны с обширной территорией [7].

В связи с этим предприятия и организации испытывают затруднения при внедрении универсальных решений по автоматизации бизнес-процессов. Специфика предприятий требует разработки уникального программного обеспечения, предназначенного для конкретной организации [8, 9]. Предприятием-заказчиком для данной работы выступил в 2023 году филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Главный радиочастотный центр» (ФГУП ГРЧЦ) в Дальневосточном федеральном округе, являющийся обособленным структурным подразделением ФГУП ГРЧЦ, действующим на территории Дальневосточного федерального округа.

Целью данного исследования является повышение уровня автоматизации и оперативности реакции при возникновении неполадок на предприятии-заказчике. Актуальность работы обусловлена необходимостью автоматизации удаленного мониторинга и управления запущенными службами, а также сбора статистики по производственным процессам.

Разработка архитектуры информационной системы предприятия-заказчика

Разработка архитектуры информационной системы (ИС) — процесс создания общей концепции и структуры системы, которая будет удовлетворять потребностям пользователей и бизнес-задачам. Система должна быть разработана с учетом функциональных, технических и экономических требований, а также соответствовать принципам модульности, масштабируемости, надежности и безопасности [10].

При проектировании ИС необходимо учитывать специфику бизнес-процессов компании и потребностей пользователей конечного программного продукта. Данные условия важны для создания более эффективного и удобного в использовании приложения.

В данной работе проводится исследование бизнес-процессов предприятия филиала ФГУП ГРЧЦ в Дальневосточном федеральном округе, который занимается управлением и контролем использования радиочастот и радиочастотных каналов, радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств гражданского назначения в соответствии с законодательством и нормативными документами [11].

ФГУП ГРЧЦ представляет собой отраслевой экспертный центр, обеспечивающий выполнение задач и функций, возложенных на радиочастотную службу Федеральным законом от 7 июля 2003 г. № 126-ФЗ «О связи» и постановлением Правительства Российской Федерации от 14 мая 2014 г. № 434 «О радиочастотной службе». Также отвечает за сопровождение контрольно-надзорных и регуляторных функций Роскомнадзора по основным направлениям его деятельности в области связи и в сфере средств массовой информации и массовых коммуникаций.

Для создания ИС автоматизации деятельности предприятия ФГУП ГРЧЦ в Дальневосточном федеральном округе выполнены три этапа:

1. составление схемы бизнес-процессов, подлежащих автоматизации;
2. составление логики работы приложения и его связанных частей;
3. создание серверной и клиентской частей информационной системы, представленной в виде веб-приложения.

Анализ бизнес-процесса, подлежащего автоматизации и технические требования предприятия-заказчика

В качестве бизнес-процесса, подлежащего автоматизации, в данной работе рассматривается процесс приема данных репликации, их отправка, управление базами данных и обмен данными с радио контрольным оборудованием. Службы, отвечающие за эти функции, должны быть под постоянным контролем и работать без перебоев.

Автоматизацией процесса может стать ИС для мгновенного мониторинга статуса определенных служб

и оперативного запуска действий в соответствии с этим статусом (перезапуск, остановка, запуск, автоматическая отправка сообщений, в случаях остановки служб, на электронный адрес и приложение на телефоне). ИС обеспечивает обработку сообщений сервера и однотипных клиентских сообщений. С сервера поступает сообщение к конкретному пользователю в случаях остановки службы. Внедрение данной ИС на предприятии-заказчике направлено на оптимизацию и автоматизацию работы отдела информационных технологий, а также позволяет уменьшить затраты при простое, когда другие сотрудники не могут получить доступа к базам данных.

Особое внимание требуют следующие четыре службы:
— ServiceSubscription.Actual — служба подписи, которая отвечает за прием данных репликации;
— ServicePublication.Actual — служба публикации, которая занимается отправкой данных репликации;
— RedDatabaseServerRedDatabase — служба анализа производительности и мониторинга, позволяющий в реальном времени получать информацию о работе серверов и управлять базами данных;
— IMService — служба приема и передачи данных с радиоконтрольным оборудованием.

Мониторинги каждой из этих служб достаточно сложны, поэтому необходимо автоматизировать их в единой ИС, которая позволила бы сразу видеть остановку того или иного элемента.

На рисунке 1 представлена UML-диаграмма бизнес-процесса предприятия по работе с данными. Данная схема отображает процесс репликации данных служб на предприятии-заказчике и условно разделена на 3 уровня:
1. Publisher занимается издательством полученных изменений в данных и создает публикацию для их распространения;
2. Distributor получает измененные данные сканирует и копирует их для последующего распространения;
3. Subscriber сохраняет эти изменения в независимый экземпляр SQL сервера.

Такой подход обусловлен дополнительной защитой данных от их случайного удаления или изменения.

После внедрения разработки предполагается снижение рисков потери данных в случаях программных или аппаратных сбоев.

На рисунке 2 изображена диаграмма последовательности действий при входе пользователя в систему. При попытке входа проверяется состояние сессии, если же она истекла, то пользователю потребуется повторное подключение. Введенные логин и пароль отправляются для проверки на сервер и, в случае успешной проверки, в журнале событий создается запись о входе.

В целом, диаграмма последовательности является полезным инструментом для моделирования и анализа систем и процессов, что помогает улучшить их эффективность и производительность. Такая визуализация позволяет отобразить порядок выполнения операций и коммуникации между объектами, что помогает выявить возможные проблемы и улучшить процесс в целом, а также может использоваться для описания функциональности программного обеспечения и его взаимодействия с другими системами [12].

Следующая UML-диаграмма отображает перемещение информации между клиентом и сервером в ИС (рис. 3). При возникновении запросов, клиент передает его на сервер с помощью метода requestInfo(). Переменные, отвечающие за хранение необходимой информации, вызывают геттеры и присваивают себе полученные значения. Если текущая сессия истекла или была прервана, например, при отключении от сети, то всплывает уведомление и происходит переподключение к серверу.

Всем задействованным в данном бизнес-процессе сотрудникам предоставляется доступ к ИС для просмотра состояния служб на устройствах, закрепленных за ними и только по месту работы. Просмотр анализа статистики каждой службы осуществляется только администраторами, также, как и возможность наделения ролью других сотрудников. При возникновении неисправностей и остановки работы служб ИС должна сигнализировать пользователям о случившемся инциденте путем отправки уведомлений на электронный адрес, указанный в профиле сотрудника, а также на мобильное приложение, установленное на телефоне сотрудника, что существенно повышает эффективность и уменьшает время, необходимое для оперативной реакции сотрудника на возникший сбой.

Разработка базы данных предприятия-заказчика

Разработка базы данных — важнейший этап создания информационной системы для управления бизнес-процессами и хранения данных о деятельности предприятия. Данный процесс включает в себя несколько этапов, начиная с анализа бизнес-процессов и заканчивая запуском и поддержкой базы данных.

На первом этапе проводится анализ бизнес-процессов предприятия, который позволяет определить потребности и требования к базе данных. На основе этого анализа создается проект базы данных, включающий в себя схему базы данных, таблицы, связи между ними и правила целостности данных.

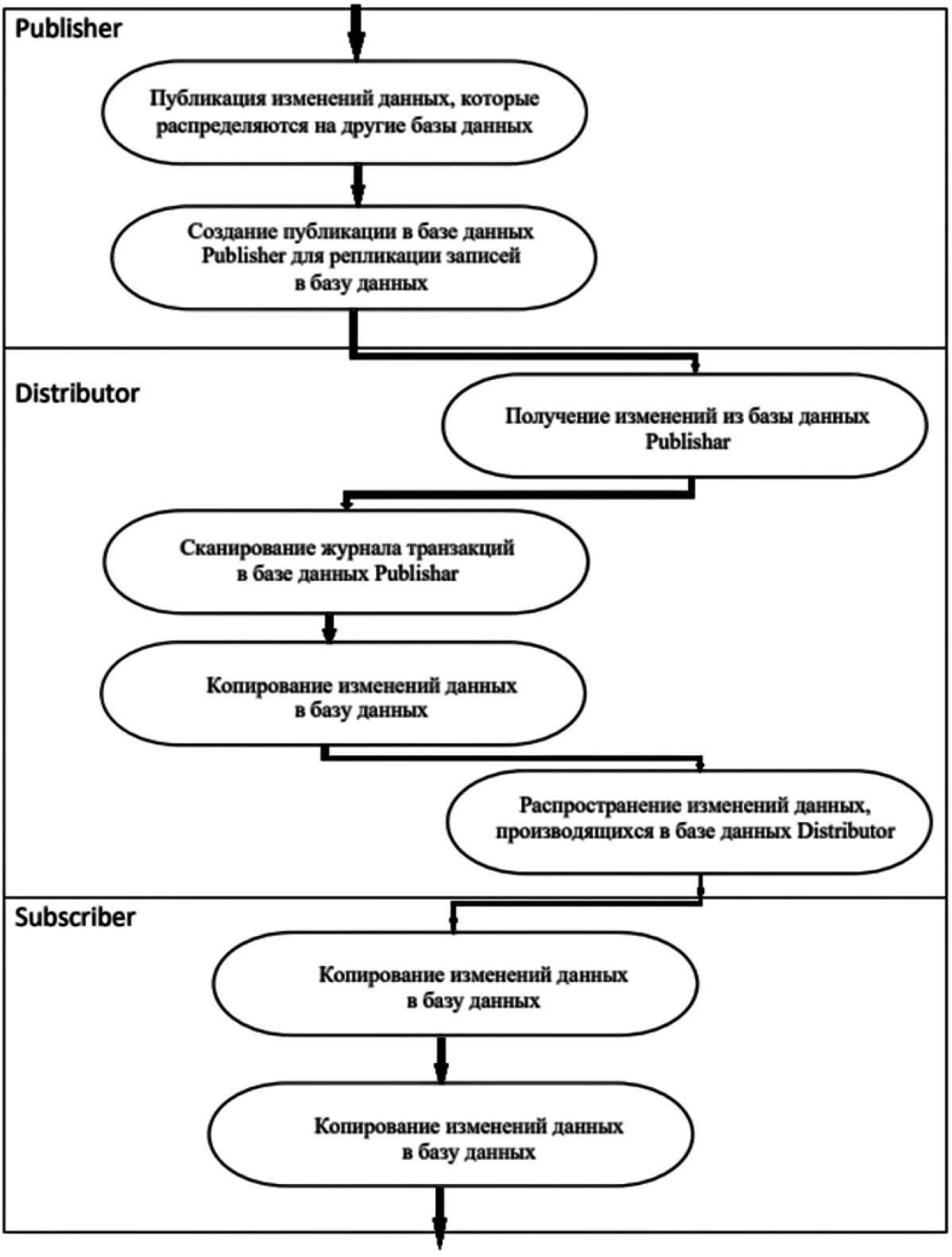


Рис. 1. UML диаграмма бизнес-процесса предприятия по работе с данными

После начинается разработка физической реализации, состоящая из создания таблиц, индексов, хранимых процедур и триггеров. Затем проводится тестирование для выявления возможных ошибок.

Реляционная модель базы данных для компании ФГУП ГРЧЦ представлена на рисунке 4.

Предлагаемая база данных состоит из семи таблиц, связанных отношениями «один-ко-многим». Часть из та-

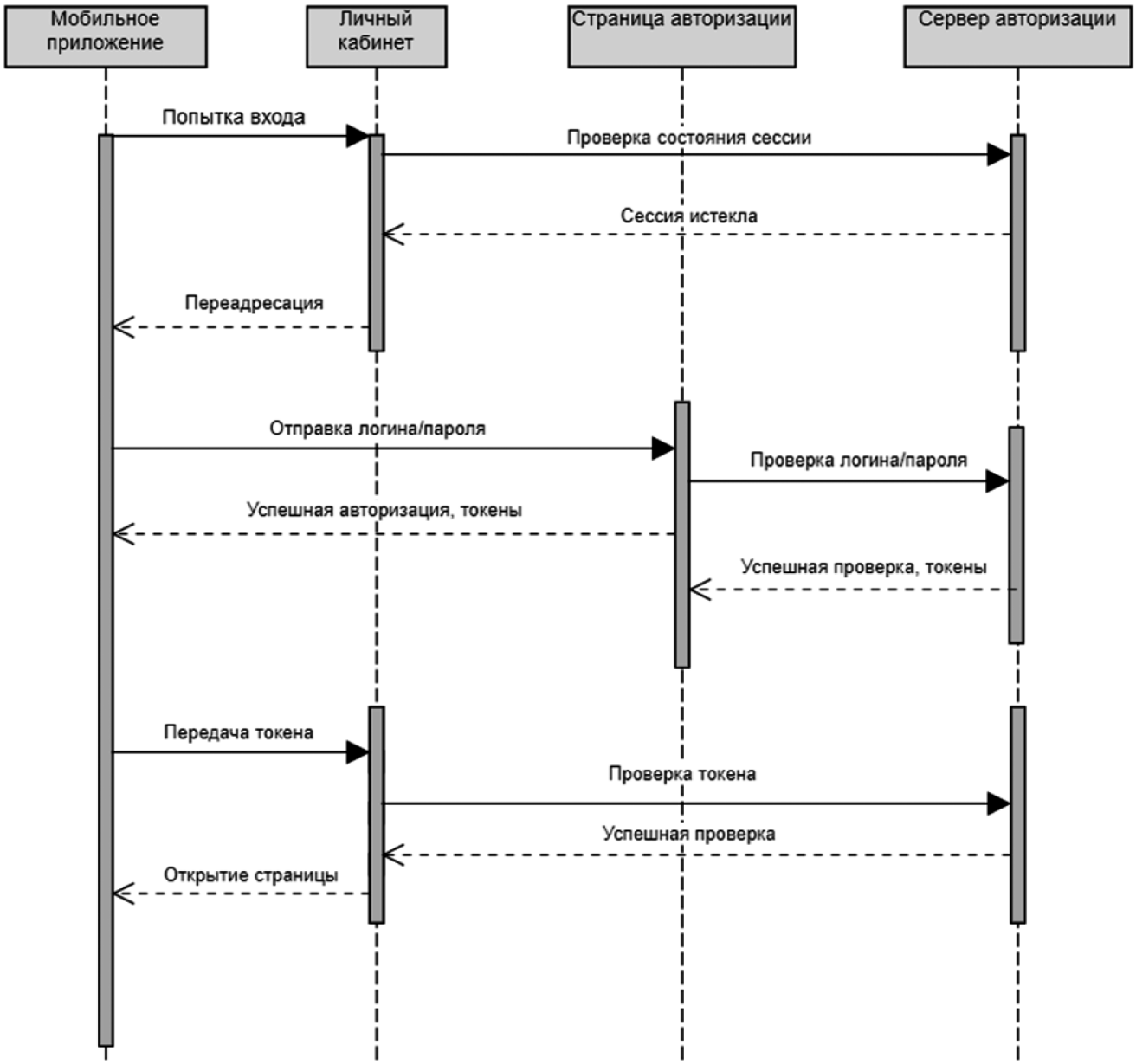


Рис. 2. UML диаграмма последовательности действий

блиц хранит сведения об основных объектах, а часть служит для задания отношений между объектами. Например, таблица «Account» содержит информацию о пользователях ИС, а таблица «Connection_Sources» предназначена для соединения таблицы «Connection» со справочником служб.

Разработка пользовательского интерфейса

Разработка клиентской части ИС включает создание пользовательского интерфейса и обеспечение функционала, который позволяет пользователям выполнять задачи, описанные и согласованные с представителями предприятия-заказчика в техническом задании на разработку.

При разработке клиентской части учитываются следующие аспекты:

— дизайн пользовательского интерфейса, согласованный с представителями предприятия-заказчика;
— требования к масштабируемости и производительности.

Важно понимать, что клиентской часть ИС должна согласовываться с серверной частью для обеспечения полной и надежной функциональности всей ИС.

Для разработки макета ИС можно использовать различные инструменты. Одним из наиболее популярных является Adobe XD, который позволяет создавать инте-

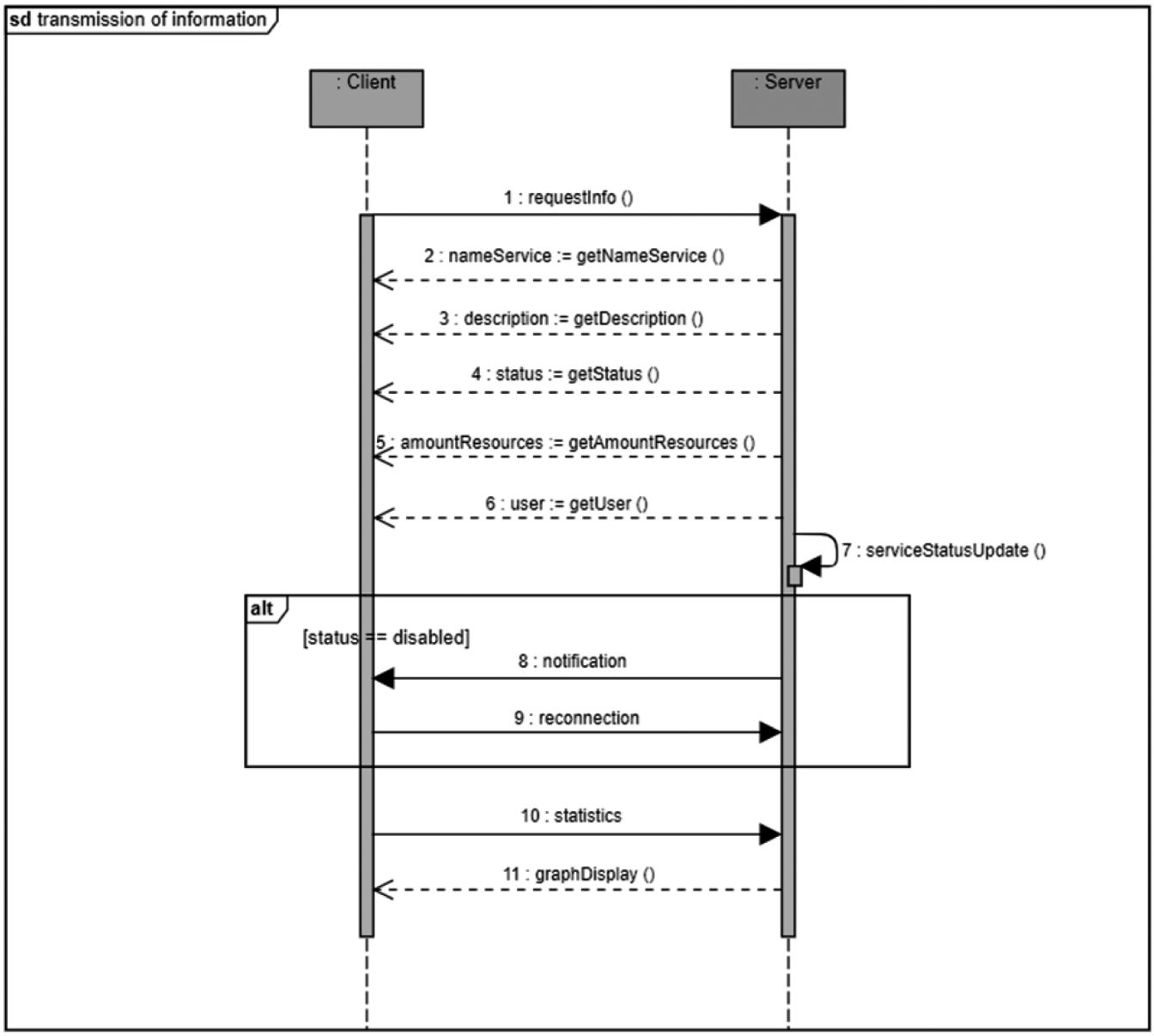


Рис. 3. UML взаимодействие сервера и клиента

рактивные прототипы веб-страниц и мобильных приложений. Другие популярные инструменты включают Sketch, Figma, InVision, Axure RP и другие графические редакторы.

Важно выполнять требования пользователей и функциональные возможности ИС при разработке макета. Также необходимо учитывать принципы дизайна и удобства использования для обеспечения оптимального режима работы с системой.

Основной пользователь данной ИС — работник информационного отдела, который отвечает за работоспособность определенных служб. При проектировании пользовательского интерфейса принято решение использовать переключение между вкладками для быстрого доступа к конкретным задачам. Выбор цвета сделан в пользу нейтрального, но при этом гармоничного лилового оттенка с градиентом. Пользователи ИС имеют возможность изменения цветовой гаммы приложения на привычные оттенки (рис. 5), а также переход на темную тему для более комфортной работы при слабом освещении (рис. 6).

При создании массовых интерфейсов используется принцип ассоциативности восприятия, когда знакомые знаки выполняют ожидаемые от них функции, например иконка с шестеренкой открывает настройки, или крестик, который закрывает окна. Помимо этого, пользователю предоставляется справочная документация для понимания и настройки ИС.

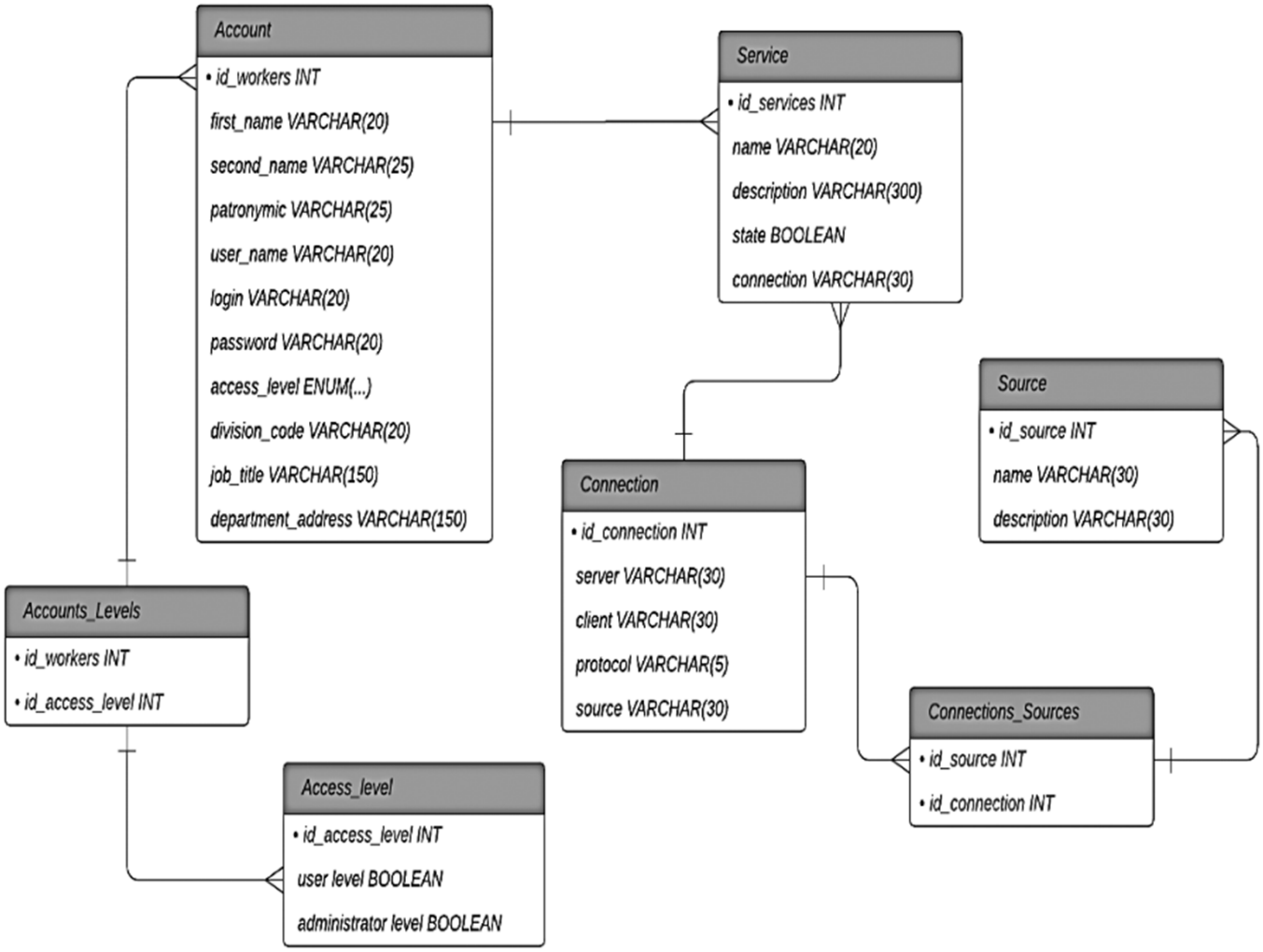


Рис. 4. UML взаимодействие сервера и клиента



Рис. 5. Окно авторизации пользователя в ИС: светлая тема

Клиентская часть предоставляет возможность просмотра списка служб с использованием фильтров и поиска по различным параметрам, таким, как название, состояние и другие, а также отображение информации по службам и возможность их перезапуска или остановки в случаи ошибок.



Рис. 6. Окно авторизации пользователя в ИС: темная тема

Реализация данного функционала представлена на рисунке 7. Диспетчер служб отвечает за мониторинг текущих служб и отображения по ним дополнительной информации, такой как описание службы, пользователя, который её запустил и группу (рис. 8).



Рис. 7. Главное окно сервиса: отображение состояния работы конкретных служб



Рис. 8. Главное окно сервиса: диспетчер служб

Заключение

В результате проведенного исследования спроектирована и разработана информационная система мониторинга статуса определенных служб и оперативный запуск действий в соответствии с этим статусом (перезапуск, остановка, запуск, автоматическая отправка сообщений, в случаях остановки служб, на электронный адрес и приложение на телефоне).

Анализ структуры предприятия-заказчика показал целесообразность выбора реляционной модели базы данных. Для реализации использованы СУБД MySQL и язык программирования Java, так как они по мнению авторов лучше всего подходят для выполнения задач данной ИС.

В ходе работы проанализированы основные преимущества и недостатки уже имеющихся решений и обоснована необходимость в создании новой ИС, учитывающей специфику бизнес-задач конкретного предприятия.

При разработке пользовательского интерфейса ИС учитывалась эстетическая составляющая. Внешний вид и дизайн элементов подобраны таким образом, чтобы создать приятное визуальное впечатление и улучшить пользовательский опыт. Цветовая схема выбрана гармоничной, с учетом символики предприятия-заказчика.

Перспективным направлением развития работы является разработка мобильного приложения-клиента, дублирующего функционал разработанной ИС и позволяющего более оперативно производить удаленный контроль и управление службами сотрудниками филиала ФГУП ГРЧЦ в Дальневосточном федеральном округе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитская Е.Ф., Валишвили М.А., Афонина В.Е. Цифровизация в глобальном мире: международная практика и российский опыт // Вестник Алтайской академии экономики и права. — 2021. — № 10. — С. 150–159.
2. Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» [Электронный ресурс] Режим доступа: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202007210012 (дата обращения: 10.02.2025).
3. Кузнецов Н.В., Лесных Ю.Г., Прохорова Т.А. Цифровизация экономики: Россия на пути к технологическому первенству // E-Management. — 2020. — № 3. — С. 45–52. — DOI 10.26425/2658–3445-2020-3-3-45–52.
4. Цифровая экономика [Электронный ресурс] Режим доступа: https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/242300/1/Goloventchik%20.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
5. Основные тренды развития цифровой экономики в финансовой сфере [Электронный ресурс] Режим доступа: http://duma.gov.ru/media/files/ONpz3AjFkualqgKS9lsgtqckucXiScBP.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
6. Индекс сетевой готовности / Networked Readiness Index [Электронный ресурс] Режим доступа: https://gtmarket.ru/ratings/networked-readiness-index (дата обращения: 10.02.2025).
7. Кадыркулова Н.К., Худайбергенов Д.С. Автоматизированная информационная система МЧС Кыргызской Республики: современные вызовы и перспективы развития // Бюллетень науки и практики. — 2025. — Т. 11. — № 3. — С. 124–129. — DOI 10.33619/2414–2948/112/15.
8. Цифровая трансформация как инструмент оптимизации обеспечения промышленной безопасности на примере опыта ООО «Газпром трансгаз Югорск» / В.Б. Братков, А.Д. Петров, А.Н. Науменко [и др.] // Газовая промышленность. — 2023. — № 8(852). — С. 156–160.
9. Дашдемиров Ф.М., Воробьев А.Д. Анализ аспектов использования информационных систем в корпоративном управлении // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № s5. — С. 20–30. — Режим доступа: https://esj.today/PDF/22FAVN523.pdf.
10. Поляков В.И., Зиннатулин Ф.Ф. Модели вычислительных процессов информационной системы // Изв. вузов. Приборостроение. — 2023. — Т. 66. — № 3. — С. 195–199. — DOI 10.17586/0021-3454-2023-66-3-195-199.
11. Федеральное государственное унитарное предприятие «Главный радиочастотный центр» [Электронный ресурс] Режим доступа: https://grfc.ru/grfc/ (дата обращения: 10.02.2025).
12. Пушкин А.А. Масштабирование и балансировка нагрузки в клиент-сервер архитектурах — Москва: МИРЭА, 2022. — 130 с.

© Жаркова Елена Дмитриевна (zharkova.elena.d@gmail.com); Манжула Илья Сергеевич (manzhula_94@mail.ru);
Вихтенко Эллина Михайловна (004184@togudv.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.23

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЭНТРОПИИ В ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

MODELING OF ENTROPY BEHAVIOR IN SPATIALLY INHOMOGENEOUS STATISTICAL SYSTEMS

E. Zarkova

Summary. The paper considers the method of modelling entropy and information flows in spatially inhomogeneous statistical systems. It is shown that defects in the structure of models have a significant impact on the entropy of the system. The application of this modelling method to describe the processes occurring in stochastic neural networks is discussed. It shows how the ideas of criticality can serve as a foundation for the construction of computational systems.

Keywords: entropy, Monte Carlo method, critical behavior, defects, Ising model, neural networks.

Зарькова Елизавета Михайловна
Аспирант, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;
инженер-исследователь,
Институт элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова Российская академия наук
zarkova.em16@physics.msu.ru

Аннотация. В работе рассмотрен метод моделирования энтропии и информационных потоков в пространственно-неоднородных статистических системах. Показано, что дефекты структуры моделей оказывают значительное влияние на энтропию системы. Обсуждается применение данного метода моделирования для описания процессов, происходящих в стохастических нейронных сетях. Это показывает, как идеи критичности могут служить фундаментом для построения вычислительных систем.

Ключевые слова: энтропия, метод Монте-Карло, критическое поведение, дефекты, модель Изинга, нейронные сети.

Введение

Статистическая физика и теория информации предоставляют основу для понимания поведения статистических систем, в частности искусственных стохастических нейронных сетей, построенных на основе решеточных спиновых систем. К таким нейронным сетям относятся, например, нейронная сеть Хопфилда, а также предложенная Д. Хинтоном нейронная сеть Больцмана [1]. За достижения в этой области Хопфилд и Хинтон были удостоены Нобелевской премии по физике в 2024 году. Эти работы указывают на глубокую связь между современной нейронаукой и статистической теорией спиновых систем. Также была показано, что критическое поведение, характерное для решеточных статистических систем, также наблюдается в динамике неокортекса мозга, что указывает на крайне общий характер возникающих в таких системах процессах [2–4]. Так динамика в неокортексе может быть тщательно проанализирована с использованием методов статистической физики. В частности, применение неравновесной статистической механики показало, что нервная ткань функционирует вблизи критической точки между упорядоченным и неупорядоченным состояниями — явление, имеющее важные последствия для обработки информации.

Важнейшим явлением в стохастических системах является возникновение критического поведения. Например, критическая динамика наблюдается в целом ряде систем, таких, как модели лесных пожаров, модели распространения эпидемий, модели в сейсмологии, нейронной активности в мозге и нервных тканях [5–7]. В этих моделях проявляется критическая динамика, приводящая к появлению лавин всплесков, распределение которых по величине следуют степенному закону своими размерами и продолжительностями. Это критическое поведение возникает, когда генерация и затухание пиковой активности становятся сбалансированными, создавая переход из области среднего поля (где флуктуации незначительны) в область, сильно подверженную флуктуациям. Эта точка равновесия представляет собой особое состояние, при котором система приобретает уникальные свойства.

Литературный обзор

Из-за высокой плотности и большой пространственной протяженности нейронных взаимодействий в неокортексе существует область «среднего поля», в которой влияние флуктуаций минимально. В этом режиме данная модель обеспечивает хорошее описание поведения системы без необходимости учитывать подробные корреляции между нейронами. Однако по мере приближения системы к некоторой критической величине флуктуации становятся все более важными, и аппроксимация среднего поля выходит из строя.

Переход между этими режимами характеризуется законами масштабирования, которые наблюдались в различных экспериментах, включая измерения на препаратах срезов неокортикальной коры животных под наркозом и даже тканей, пораженных эпилепсией [3]. Эти законы масштабирования показывают, насколько чувствительна система к небольшим возмущениям вблизи критической точки, когда крошечные входные данные могут вызвать каскады активности по всей сети.

В то время как статистическая механика описывает коллективную динамику нейронных систем, теория информации предоставляет инструменты для точной количественной оценки того, сколько информации эти системы передают и насколько эффективно они это делают.

Нервная система представляет зависящие от времени сигналы — последовательности всплесков. Поскольку все они по существу идентичны, информация должна передаваться в первую очередь в зависимости от их времени пуска. При анализе подобных систем мы можем измерить общую энтропию всей системы, и, как в дальнейшем выяснится, также каждого ее элемента, а следовательно, сделать выводы о направлении и изменении потока энтропии внутри моделируемой системы.

Нейронные системы, работающие вблизи критических точек, обладают рядом преимуществ при обработке информации, которые могут объяснить, почему они оптимальны для функционирования в этом режиме. При критичности [7, 8]:

1. Динамический диапазон (чувствительность к входным сигналам различной величины) максимален;
2. Оптимизирована передача информации между нейронами;
3. Система может сохранять память о прошлых состояниях, оставаясь при этом отзывчивой к новым входным данным;
4. Нейронные лавины обеспечивают эффективный механизм распространения информации по сети.

Эти свойства проявляются как естественные следствия баланса между возбуждением и торможением, которые характеризуют критическую нейронную динамику. Когда система работает слишком далеко от критичности — либо в высокоупорядоченном (докритическом или низкотемпературном), либо в сильно неупорядоченном (сверхкритическом или высокотемпературном) состоянии — ее возможности по обработке информации становятся ограниченными.

Математическая модель

Было показано, что более простые сетевые архитектуры могут быть вполне адекватны для моделирования нейронных систем, что снижает вычислительные затраты и сложность обучения, а также дают представление о взаимосвязи между физическими системами и их представлением в нейронных сетях [8].

Для построения теоретической модели была выбрана двумерная модель Изинга с пространственными неоднородностями [9]. Она состоит из бинарных переменных $\varphi_x = \pm 1$ (спинов), расположенных на квадратной решетке, с взаимодействиями ближайших соседей с константой взаимодействия J. Распределение вероятностей соответствует распределению Больцмана:

$$p_i = \frac{e^{-\beta E_i}}{Z}. \quad (1)$$

Здесь E_i — энергия -ого состояния, β — обратная температура, а Z — статистическая сумма, равная $Z = \sum e^{-J\beta E_i}$, где J — энергия взаимодействия. Энергия же всей системы равна:

$$E = -J\sum_{x,\mu}\varphi_x\varphi_{x+\mu}, \quad (2)$$

или же:

$$E = -\frac{\partial \ln Z}{\partial \beta}. \quad (3)$$

Но самое важное, что эта система демонстрирует фазовый переход при критическом значении константы связи $к = J\beta \approx 0{,}44$.

Из формул:

$$F = E - S/\beta, \quad (4)$$

где S — энтропия

$$E = \frac{\partial(\beta F)}{\partial \beta}, \quad (5)$$

Получаем:

$$S\Big|_{\beta_1}^{\beta_2} = \beta E(\beta)\Big|_{\beta_1}^{\beta_2} - \int_{\beta_1}^{\beta_2} E(\beta')d\beta'. \quad (6)$$

Полученная формула имеет важное значение по нескольким причинам:

1. Она позволяет численно посчитать энтропию системы, зная, как значения энергии системы E при различных β;
2. Наиболее удобно рассматривать это уравнение из высокотемпературного приближения $(\beta \to 0)$. Тогда:

$$\Delta S = S - S_0 = \beta E - \int_0^{\beta} E(\beta)d\beta, \quad (6.1)$$

где S_0 — значение энтропии при $(\beta \to 0)$, соответствующее ее максимальному значению.

3. Из того, что энергия системы, равная сумме энергий всех компонент системы, входит в формулу линейно, следует, что энтропия также является аддитивной величиной. То есть энтропию можно рассматривать в конкретных узлах решетки.

Аналитические результаты

Статистическая сумма для высокотемпературного приближения:

$$Z = 2^V(\cosh\kappa)^{2V}\sum^{2V}(1 + V(\tanh\kappa)^4 + 2V(\tanh\kappa)^6 + \ldots, \quad (7)$$

где V — количество узлов решетки.

Разложим гиперболические функции в ряд Тейлора до 4-го порядка по к:

$$Z = 2^V\left(1 + \frac{\kappa^2}{2} + \frac{\kappa^4}{4!}\right)^{2V}\sum(1 + V\left(\kappa - \frac{\kappa^3}{3}\right)^4 + \ldots). \quad (8)$$

Тогда, используя формулу (3), получим:

$$E \sim -J\left(6\kappa - \frac{11}{12}\kappa^3\right), \quad (9)$$

и с учетом формулы (6.1), получим, что изменение энтропии системы зависит от к следующим образом:

$$\Delta S \sim -3\kappa^2 + \frac{11}{16}\kappa^4 \quad (10)$$

Результаты численного моделирования

Моделирование проводилось с помощью метода Монте-Карло. Были рассмотрены спиновые решетки разного размера для оценки величины объемного эффекта. При анализе использовался стандартный алгоритм тепловой бани [10].

В начале представим результаты пространственно-однородной системы. Методом Монте-Карло были вычислены значения внутренней энергии при различной температуре $t = 1/\beta$. С помощью формулы (6.1) численно посчитаем изменение энтропии системы и сравним результаты численного моделирования с аналитическими результатами, представленными в предыдущем параграфе. На Рис. 1 показано хорошее согласие результатов численного моделирования с аналитическим прогнозом. Видно, что небольшое расхождение наблюдается только в окрестности критической точки. Это позволяет надеяться, что предложенный алгоритм расчета плотности энтропии дает хорошую оценку и может быть применен и к интересующему случаю пространственно-неоднородной системы.

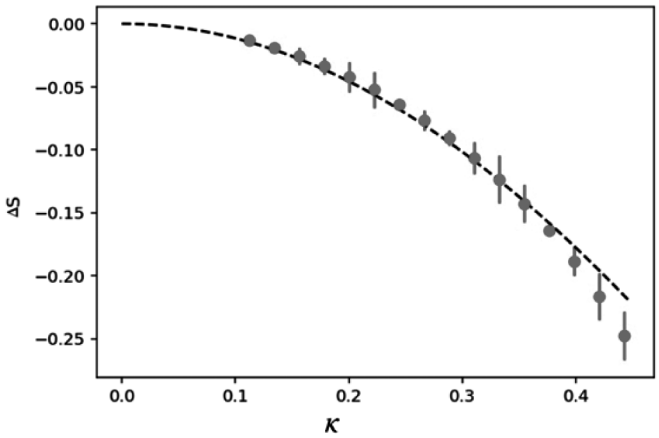


Рис. 1. Сравнение численного моделирования энтропии (серые точки) с аналитическими результатами (черная пунктирная кривая)

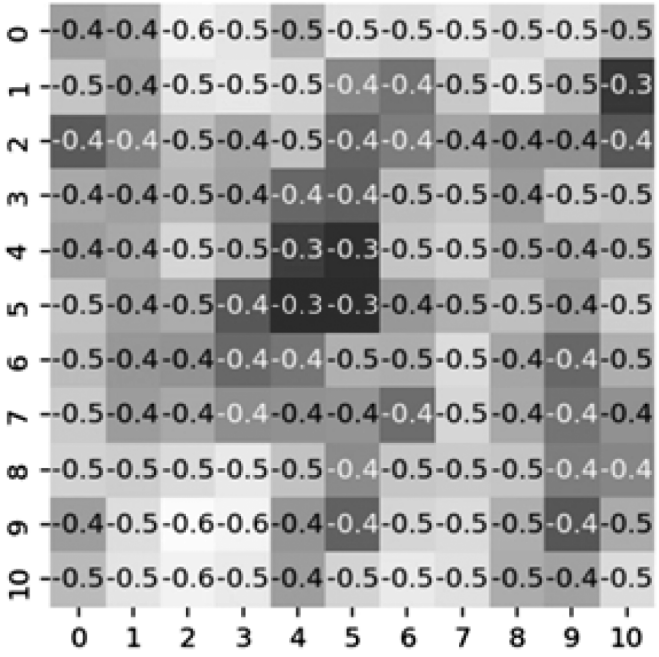


Рис. 2. Результаты численного моделирование энтропии в каждой точке системы с пространственным дефектом структуры (дефект расположен в точке с координатами (5,5)

На Рис.2 представлены данные численного моделирования системы с пространственным дефектом структуры (дефект расположен в точке с координатами (5,5)). Цветом представлена плотность энтропии в системе. Видно, что в центральной части (в окрестности дефекта) плотность энтропии значительно выше, чем с краю. Это, очевидно, связано с тем, что узлы решетки имеют меньше связей в окрестности дефекта типа вакансии, и, таким образом, их состояние значительно более неопределенное. Также видно, что влияние дефекта распространяется достаточно широко. Это связано, очевидно, с близостью нашей системы к критической точке.

Заключение

Основной вывод работы заключается в том, что в статистических системах плотность энтропии существенно зависит от пространственных неоднородностей. Особенно остро эта зависимость проявляется в окрестности критической точки. Этот вывод важен, в частности, для построения нейронных сетей, использующих изменение локальной плотности энтропии и информационные потоки в процессе обучения, самообучения и самоорганизации. Из приведенного анализа видно, эти процессы наиболее интенсивно будут идти в окрестности критической точки моделей.

Также было показано на данном примере, что объединение методов статистической механики и теории информации могут раскрыть общие принципы работы как искусственных нейронных систем, так, возможно, и мозга. Такие системы могут функционировать как критические системы, оптимизирующие процесс обработки информации на основе анализа энтропии и информационных потоков, вызванных пространственной неоднородностью системы. Также приведенный синтез подчеркивает важную роль математического и численного моделирования в выявлении динамики, близкой к критическим точкам, где в системах, таких как нейронные сети, поддерживается баланс между порядком и хаосом. Численные методы, такие как моделирование методом Монте-Карло или анализ стохастических дифференциальных уравнений, позволяют количественно оценить, как колебания вблизи критических состояний обеспечивают высокую чувствительность к входным данным при сохранении стабильности внутренних представлений.

Таким образом, синтез математического моделирования, численных методов и междисциплинарных подходов открывает путь к созданию более эффективных алгоритмов, углублению понимания работы мозга и разработке инновационных вычислительных парадигм на стыке физики и искусственного интеллекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Основы теории сложных систем / М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2007. 620 с.
2. Тархов Д.А. Нейронные сети. Модели и алгоритмы / М.: Радиотехника. 2005–2006. 256 с.
3. Писарчик А.Н., Храмов А.Е. Стохастические процессы в нейронной сети головного мозга и их влияние на восприятие и принятие решений // Успехи физических наук. 2023. Т. 193. № 12. С. 1298–1324
4. Куцый Н.Н., Подкорытов А.А. Перспективы применения нейронных сетей для адаптации стохастических моделей // В сборнике: Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов. Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2022. С. 224–226.
5. Феофанов М.А. Принцип самоорганизованной критичности // В сборнике: Современная наука и молодые учёные. сборник статей Международной научно-практической конференции. 2020. С. 13–16.
6. Гараева А.Я., Сидорова А.Э., Твердислов В.А., Левашова Н.Т. Модель предпосылок видообразования в представлениях теорий перколяций и самоорганизованной критичности // Биофизика. 2020. Т. 65. № 5. С. 932–948.
7. Мазуров М.Е. Физика режимов с самоорганизованной критичностью на кромке устойчивости // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2022. Т. 86. № 2. С. 298–304.
8. Морозов А.Ю., Абгарян К.К., Ревизников Д.Л. Математическое моделирование аналоговой самообучающейся нейронной сети на основе мемристивных элементов с учетом стохастической динамики переключения // Российские нанотехнологии. 2021. Т. 16. № 6. С. 799–809.
9. Мейлихов Е.З. Трагическая и счастливая жизнь Эрнста Изинга // Природа. 2006 г. №7. С.237-242
10. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы / М.: Мир. 1975 217 с.

© Зарькова Елизавета Михайловна (zarkova.em16@physics.msu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.24

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОПК

PECULIARITIES OF APPLICATION OF MODERN MANAGEMENT TECHNOLOGIES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AT ENTERPRISES OF DIC

L. Ivanova
N. Salienko

Summary. The article studies modern approaches to strategic management of sustainable development at the enterprises of the Russian defence industrial complex (DIC) in the period from 2018 to the present. The theoretical and methodological foundations of strategic management in the context of the 'three pillars' of sustainable development — economic, social, and environmental — are considered. The practices of strategic management at defense industry enterprises (Rostec, UVZ, UEC, Almaz-Antey) have been analyzed: senior-management training, «green» projects in affiliated banks, diversification, and balanced product portfolios. A comparative review with international approaches was conducted (integration of UN SDGs, ESG requirements, and decarbonization in the EU and US). Key obstacles were identified (centralized control, sanctions, skills shortages, and infrastructure gaps) and recommendations proposed: strengthening state and corporate strategic leadership, developing human capital, cooperating on civilian projects, and digitalizing management.

Keywords: sustainable development, strategic management, defence industry complex, production diversification, ESG, balanced product portfolio, ecology, sustainable development of the enterprise.

Иванова Лика Валерьевна
ФГБОУ ВУ Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана
lejvejla@mail.ru
Салиенко Наталья Владимировна
Доктор экономических наук, профессор, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
verno555@mail.ru

Аннотация. В статье исследуются современные подходы к стратегическому управлению устойчивым развитием на предприятиях оборонно-промышленного комплекса (ОПК) России в период с 2018 по настоящее время. Рассматриваются теоретико-методологические основы стратегического менеджмента в контексте «трёх столпов» устойчивого развития — экономического, социального и экологического.

Проанализированы практики стратегического управления на предприятиях ОПК (Ростех, УВЗ, ОДК, «Алмаз-Антей»): обучение топ-менеджеров, «зелёные» проекты в подконтрольных банках, диверсификация и сбалансированные продуктовые портфели. Проведен сравнительный анализ с международными подходами (интеграция ЦУР ООН, требования ESG, декарбонизация в ЕС и США). Выявлены ключевые препятствия (централизация, санкции, дефицит кадров, инфраструктура) и предложены рекомендации: усиление государственного и корпоративного стратегического лидерства, развитие кадрового потенциала, кооперация в гражданских проектах и цифровизация управления.

Ключевые слова: устойчивое развитие, стратегическое управление, оборонно-промышленный комплекс, диверсификация производства, ESG, сбалансированный портфель продукции, экология, устойчивое развитие предприятия.

Введение

Российский ОПК — интегрированная система наукоёмких предприятий для обеспечения национальной безопасности, которая сегодня должна не только выполнять ГОЗ, но и диверсифицироваться в гражданские сектора по принципам устойчивого развития, согласуя долгосрочные экономические, социальные и экологические цели. В рамках стратегии Ростеха до 2025 г. (+17 % выручки и > 50 % гражданской продукции) внедрение сбалансированных систем показателей, сценарного планирования, цифровизации и ESG-метрик сдерживают централизация, бюрократия, технологические ограничения и санкции, тогда как спецоперация 2022–2025 гг. форсировала ВВТ, импортозамещение и цифровую трансформацию, а государственная поддержка гражданских проектов (медоборудование, ГПА, электромобили) сделала стратегическое управление ключевым инструментом устойчивого развития.

Актуальность темы определяется растущим запросом государства на повышение эффективности ОПК через инновационное и сбалансированное развитие. В условиях глобальной конкуренции и геополитических вызовов устойчивость оборонной промышленности приобретает ключевое значение. Цель работы — выявить особенности применения стратегического управления как инструмента устойчивого развития на российских предприятиях ОПК начиная с 2018 года и сопоставить их с международным опытом в аналогичных секторах.

Основы стратегического управления в контексте устойчивого развития

Стратегическое управление — это совокупность мер и подходов, направленный на достижение долгосрочных целей организации и повышение её конкурентоспособности. Суть стратегического менеджмента заключается в формулировании миссии и стратегии развития предприятия с учётом оценки внутренней структуры и внешней среды (политики, рынка, технологий). Устойчивое развитие предприятий предусматривает учёт трёх взаимосвязанных аспектов: экономического роста, социальной ответственности и экологической безопасности. По определению ООН, устойчивое развитие — «удовлетворение потребностей нынешнего поколения без ущерба для возможностей будущих поколений», что требует балансировки ресурсов, инвестиций и инноваций.

С точки зрения методологии, реализация стратегического управления в рамках устойчивого развития требует интеграции традиционных инструментов — SWOT— и PESTEL-анализа, сценарного планирования, системы сбалансированных показателей (Balanced Scorecard), бережливого производства и др. — с принципами устойчивости. Так, в стратегическом планировании должны учитываться экологические цели (сокращение выбросов, энергосбережение), социальные (комплексное развитие персонала, социальная поддержка в регионах) и корпоративного управления (прозрачность, ответственность). Впервые концепция сбалансированного развития и стратегического менеджмента стала широко известна через работы И. Ансоффа и позднее через формализации «трёх столпов» устойчивого развития в международной практике. [2]

Современные исследования подчёркивают необходимость адаптации стратегического управления к нестабильной внешней среде. Так, в ОПК необходимо разрабатывать сценарные варианты развития (с учётом санкций, технологического отставания и изменения спроса), а также проводить системный анализ инвестиционных программ. При этом, по мнению некоторых российских авторов, управление в промышленности исторически делится на две модели — централизованную и децентрализованную. Централизованная модель (характерная для госкорпораций) обеспечивает единый контроль, но снижает гибкость предприятий; децентрализованная предполагает большую автономию предприятий, но требует эффективной координации. В рамках устойчивого развития данная дилемма может преодолеваться через развитую систему матричного и программного управления, когда стратегическое видение задаётся сверху, а предприятия самостоятельно адаптируют процессы с учётом локальных условий. [3] [4]

Итак, теоретико-методологической базой исследования является синтез классических понятий стратегического менеджмента (миссия, стратегия, анализ среды, долгосрочное планирование) и современных концепций устойчивого развития (экологизация, социальная ответственность, ESG-критерии). Установление устойчивых бизнес-моделей в ОПК означает, что стратегические решения предприятий должны учитывать не только оборонную эффективность, но и экономические, социальные и экологические параметры долгосрочного роста.

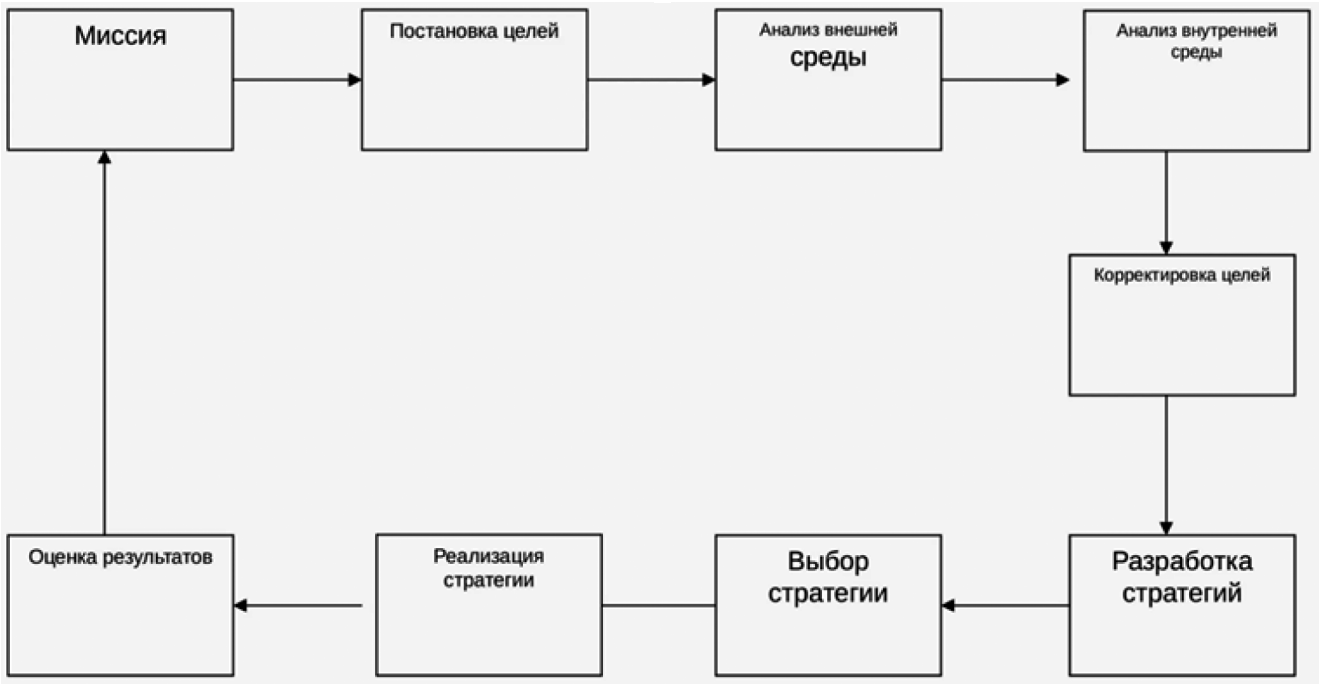


Рис. 1. Схема модели стратегического планирования на предприятии ОПК

Анализ текущих практик на предприятиях ОПК РФ

В последние годы на ведущих предприятиях ОПК России происходят заметные изменения в системе стратегического управления. Эти изменения во многом связаны с инициативами госкорпорации «Ростех» и ее холдингов, а также с внешними факторами (санкции, цифровизация, военная доктрина). На практике в ОПК активно используются следующие современные управленческие технологии: [5] [6]

- БСК: стратегические карты с финансовыми KPI и целями устойчивого развития; «двойная» оборонно-гражданская стратегия;
- обучение: 2025 — программа «Стратегический менеджмент» для топ-менеджеров Ростеха [7];
- ESG: «зелёные» продукты (электромобили, экомониторинг), НИОКР импортозамещение [8];
- банк: Новикомбанк формализовал ESG, с 2023 г. «зелёные» кредиты +57 %, гарантии +36 %, безбумажка;
- портфели: диверсификация через сбалансированное сочетание оборонных и гражданских продуктов.

Как следует из анализа таблицы, в последние годы наблюдается ускоренный рост формализации стратегических процессов в ОПК: увеличивается число предприятий, имеющих стратегические планы и программы диверсификации, активнее проводится обучение менеджеров. Особо заметно расширение практики «зелёного» финансирования — в том числе через кредитные продукты — и включение экологических критериев в решения на уровне холдингов.

Таким образом, практики стратегического управления в российских предприятиях ОПК становятся более проактивными и комплексными. Отмечаются: усиление вертикального контроля за стратегией со стороны госкорпорации и Минпромторга, внедрение новых технологий планирования и оценки, а также стремление к интеграции с национальными проектами (цифровизация, экология). В то же время, по данным исследователей, реальное исполнение стратегических планов часто носит номинальный характер без механизма обратной связи и чёткого измерения показателей эффективности.

Таблица 1.

Ключевые показатели стратегического менеджмента на предприятиях ОПК РФ [8]

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Доля предприятий ОПК с утверждённой стратегией (%)	35	45	55	65	75	85	92
Наличие официальной программы развития гражданского отдела (%)	10	20	30	50	60	70	80
Доля выручки от гражданских заказов (%)	8	9	12	15	18	22	28
Обучение стратегическому менеджменту (% топ-менеджеров)	15	25	35	47	60	72	85
Увеличение «зелёных» инвестиций (прирост, %)	5	10	20	30	45	55	68

Сравнение с международными подходами

Международные оборонные предприятия также переходят к устойчивому развитию, сочетая узкоотраслевые, «родственные» и общие ESG-меры (PwC) и разрабатывая собственные ESG-политики. В ЕС и США действуют



Рис. 2. Схема цикла стратегического планирования и управления

жёсткие регуляторные стимулы к декарбонизации (цели ЕС по выбросам, План устойчивого развития Пентагона с энергоэффективными объектами и биоматериалами); компании добровольно модернизируют отрасль через зелёную оборону и электромобили. Активно используются глобальные стандарты ООН и НАТО с акцентом на «устойчивую оборону», а также практики открытых инноваций и сотрудничества с университетами.

Таким образом, в мировом контексте можно отметить:

- усиленная экологическая компонента. Как в Европе, так и в США оборонные предприятия согласовывают стратегии с целями декарбонизации и экологической устойчивости;
- социальная ответственность. Мировые корпорации проводят прозрачную социальную политику (обучение, безопасность труда, поддержка ветеранов), что становится частью корпоративной стратегии (ESG S). Российские аналоги пока развиваются медленнее;
- более децентрализованные модели. В ЕС оборонные компании чаще являются частными или акционерными обществами, что стимулирует конкурентный менеджмент и инновации. Российский ОПК пока остаётся монолитным, но с растущей ролью холдингов, что требует усиленной координации при стратегическом планировании;
- инвестиции в двойное назначение. За рубежом широко практикуется диверсификация через гражданские технологии (связь, ИИ, медицина). В России тоже отмечается движение в эту сторону, но преимущественно усилиями государства.

Таблица 2 демонстрирует, что российские предприятия ОПК постепенно приближаются по стратегическому фокусу к зарубежным коллегам, особенно в области диверсификации и экостратегий, однако пока сохраняют более высокую степень контроля со стороны государства и ориентированность на внутренние приоритеты.

Основные проблемы и барьеры внедрения стратегического управления в ОПК

Наряду с положительными сдвигами, внедрение современных управленческих технологий в ОПК сталкивается с комплексом препятствий.

1) Централизация и бюрократия: медленные согласования, слабая обратная связь и координация между уровнями управления.
2) Кадровые ограничения и культура: дефицит специалистов по стратегическому менеджменту и ESG; секретность мешает обмену опытом.
3) Финансовые барьеры: неравномерное финансирование, отсутствие долгосрочного спроса на гражданскую продукцию и риски инвестиций.

Таблица 2.

Примеры стратегических приоритетов российских и зарубежных оборонных предприятий

Направление	Россия (ОПК)	Международный опыт
Диверсификация	Программы двунаправленного производства	Расширение гражданских линеек
Экологизация	Внедрение энергоэффективных технологий, «зелёных» проектов	Активная экостратегия, декарбонизация поставок, возобновляемая энергия
Обучение и компетенции	Программы стратегического образования для топ-менеджеров	Постоянное развитие персонала, обмен опытом
Участие государства	Государственное курирование и финансирование	Смесь частных и государственных проектов; активная роль правительства в R&D
Система показателей	Формирование KPI с включением технико-экономических и социальных параметров; переход на внутренние стандарты управленческой отчётности	Широкое применение Международных стандартов (IFRS, ESG-отчётность, BSC)

4) Технологии и санкции: зависимость от импорта, длительная адаптация локальных аналогов тормозит цифровизацию и обновление.
5) Нормативная база: устаревшие методики оценки устойчивости, фрагментарный экологический аудит и конкуренция за ресурсы.

Предложения и рекомендации по совершенствованию подходов

Для преодоления существующих ограничений и повышения эффективности стратегического управления устойчивым развитием в ОПК предлагается:

1. государственно-корпоративные дорожные карты — утвердить до конца 2025 г. обновлённые дорожные карты ГОЗ и гражданской продукции (медицинская техника, энергогенераторы, портовое оборудование), с чёткими KPI по доле гражданских доходов и импортозамещению комплектующих (целевой показатель на 2026 г. — ≥ 35 % гражданской выручки);
2. кадровый резерв и «стратегические акселераторы» — создать в 2025 г. на базе профильных вузов (МГТУ им. Баумана, СПбПУ) и академии «Ростеха» короткие интенсив-курсы по стратегическому менеджменту ОПК, включая модули «военная логистика», «цифровые двойники», «ESG для оборонки»; [10]

3. ESG-управление и внутренняя отчётность — ввести с 2026 г. единый отраслевой стандарт нефинансовой отчётности по схеме GRI-C6, обязав крупные холдинги и корпорации публиковать показатели энергопотребления, выбросов, числа сотрудников в регионах и социальные программы;
4. гибкое стратегирование и сценарное планирование — до 2025 г. внедрить в холдингах ОПК цифровые платформы для итеративного пересмотра стратегий (Agile-подход) с учётом новых санкций, колебаний бюджетных расходов и технологических рисков;
5. межгосударственные техно-альянсы — расширять сотрудничество в рамках Союза машиностроителей ЕАЭС и ШОС, а также с КНР и Индией по совместным НИОКР в области двигателестроения и композитных материалов (двигатели ПД-35, обшивка из полиимидных смол), где уровень технологической зрелости сопоставим с российским.

Заключение

Анализ работы ОПК в 2018–2025 гг. показал, что после 2022 г. отрасль прошла экстренную стадию импортозамещения и цифровизации управления, при этом стратегические инструменты (BSC, ESG, сценарное планирование) доказали свою эффективность в мобилизационных условиях. Вместе с тем сохраняются риски из-за недостатка квалифицированных стратегов и сложностей с долгосрочным планированием в условиях бюджетной неопределённости.

Одновременно остаются существенные барьеры: централизованная структура управления, дефицит специализированных кадров и зависимость от государственного заказа. Перемены требуют глубокого институционального сдвига, который должен проводиться синхронно сверху и снизу. Принимая во внимание международный опыт, российская оборонная промышленность может активнее внедрять устойчивые технологии и модели управления: например, стандартизацию ESG-показателей, сотрудничество с частными инвесторами и мировыми экспертными сетями.

Итогом должно стать стратегическое развитие ОПК как части национальной экономики, где военная мощь и технологическая независимость дополняются высоким уровнем экономической, социальной и экологической устойчивости. В долгосрочной перспективе именно такая политика укрепит позиции отрасли на глобальном рынке и повысит обороноспособность страны за счёт устойчивого роста и инноваций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров К.В., Балашова О.А. Развитие моделей управления предприятиями оборонно-промышленного комплекса в исторической ретроспективе // Экономика космоса. 2024. № 1 (7). С. 3–9.
2. Беккиев А.Ю., Падалкин В.Ю., Хорев А.И. Формирование системы укрепления оборонно-промышленного потенциала в концепции национальной безопасности // Вестник ВГУИТ: Экономика и управление. 2015. № 1 (63). С. 5–12.
3. Бровко П.М., Петрук Г.В. Стратегическое управление развитием предприятий оборонно-промышленного комплекса с применением двойных технологий при ресурсном подходе // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2016. № 3 (45). С. 12–24.
4. Государственная корпорация «Ростех». Направление «Экология». [Электронный ресурс] (дата обращения: апр. 2025). URL: https://rostec.ru/directions/ecology/ (см. стр. 80–84, 136–139).
5. Пресс-релиз ГК «Ростех»: «НОВИКОМ опубликовал отчет о выполнении целей устойчивого развития» (24 декабря 2024). [Электронный ресурс] (дата обращения: апр. 2025). URL: https://rostec.ru/media/news/novikom-opublikoval-otchet-o-vypolnenii-tseley-ustoychivogo-razvitiya/ (см. абзацы 94–104, 107–115).
6. Водопьянов В.А., Шульга Е.В. Устойчивое развитие: теоретические основы и моделирование. М.: Наука, 2019. 256 с.
7. The Evolving Role of ESG in the Defense Industry. Strategy& (PwC). 2023. [Электронный ресурс] URL: https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/aerospace-defense/evolving-role-esg-in-defense-industry.html(см. раздел Impact of public perception).
8. Sustainability in the Aerospace and Defense Industry. KPMG International. June 2023. [Электронный ресурс] (дата обращения: апр. 2025). URL: https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2023/06/sustainability-in-a-and-d-report-final-web.pdf (см. стр. 17–25, 49–57).
9. U.S. Department of Defense: 2022 Sustainability Plan. [Электронный ресурс] (дата обращения: апр. 2025). URL: https://www.sustainability.gov/pdfs/dod-2022-sustainability-plan.pdf (см. раздел Net-Zero Emissions Buildings, стр. 3–4).
10. Гудкова О.Е., Кострова Ю.Б. Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России //Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России Учредители: Всероссийский научно-исследовательский институт» Центр». — №. 4. — С. 70–77.

© Иванова Лика Валерьевна (lejvejla@mail.ru); Салиенко Наталья Владимировна (verno555@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.25

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МОДУЛЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПАРСЕРА ОТЧЕТОВ О ПРОВЕДЕННОМ ТО ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА ОТЧЕТНОСТИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ КОМПАНИИ: АРХИТЕКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ

Ильин Илья Игоревич
Аспирант, ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет Станкин»
hitsukey@yandex.ru

INTEGRATION OF EXTERNAL DATA SOURCES INTO THE ACCOUNTING SYSTEM OF A TELECOMMUNICATION COMPANY: ARCHITECTURE AND IMPLEMENTATION

I. Ilyin

Summary. To improve the completeness and integrity of data, telecommunications companies need to solve the problem of integrating various external data sources into internal accounting systems.
The article describes the implemented architecture of the integration module with the accounting system of technical maintenance reports in PJSC VimpelCom.
The analysis demonstrates the need for a variety of interfaces (REST API, mobile application, telegram bot, web interface) for effective work with various categories of users (company employees, employees of various contractors, other systems within the company).
The implementation of the integration module has improved the transparency of the maintenance process, reduced the time for data processing, and increased the reliability of interaction between systems.

Keywords: JSON, Kafka, REST API, Telegram bot, data integration, telecommunications, maintenance, token, reporting.

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка и внедрение модуля универсального парсера отчетов о проведенном техническом обслуживании (ТО) базовых станций в телекоммуникационной компании ПАО «Вымпелком».
Основной целью исследования является автоматизация учета отчетности за счет извлечения данных из архивных файлов в формате .zip, .rar, .7z, содержащих отчеты в формате Excel (.xlsx, .xls, .xlsm), а также сопутствующие фотоматериалы.
Для решения поставленных задач разработан парсер на языке программирования PHP, взаимодействующий с базой данных MySQL, обеспечивающий загрузку данных через веб-интерфейс и файловую систему.
В статье подробно описаны архитектура системы, схема базы данных, алгоритм обработки архивов и структуры хранения данных.
Результаты внедрения показали высокую надежность и эффективность работы системы: удалось автоматизировать обработку 95 % поступающих отчетов, снизить количество ошибок ручного ввода с 20 % до 2 % и сократить трудозатраты сотрудников на 70 %. Выявлены преимущества предлагаемого решения и обозначены направления для дальнейшего развития системы, такие как интеграция с OCR-технологиями.
Работа подчеркивает важность автоматизации учета отчетности для повышения операционной эффективности работы телекоммуникационных компаний и снижения вероятности ошибок при ручном вводе данных.

Ключевые слова: автоматизация, базы данных, обработка архивов, обработка данных, оптимизация бизнес-процессов, отчеты, парсер, телекоммуникации, техническое обслуживание.

Введение

Современные телекоммуникационные компании сталкиваются с необходимостью эффективного учета отчетности о проведенном техническом обслуживании (ТО). Традиционные методы обработки отчетов часто требуют значительных временных затрат и могут быть подвержены ошибкам. В связи с этим актуальной задачей является разработка автоматизированных решений для упрощения процесса обработки отчетов. Настоящая работа посвящена созданию модуля универсального парсера, который позволяет извлекать данные из архивов с отчетами и сохранять их в базе данных.

Особенности задачи:

- Отчеты поставляются в архивах (.zip, .rar, .7z) с вложенными Excel-файлами (.xlsx, .xls, .xlsm) и фотографиями оборудования.
- Ручная обработка занимает до 3 часов на отчет из-за необходимости распаковки, проверки данных и загрузки в БД.

- Требуется интеграция с существующей веб-системой компании, написанной на языке программирования PHP и использующей БД MySQL.

Цель работы — создание модуля, который:
1. Автоматически распаковывает архивы.
2. Извлекает данные из Excel-файлов.
3. Сохраняет структурированную информацию в базе данных MySQL.

Литературный обзор

Развитие технологий автоматизации отчетности является одним из ключевых направлений повышения эффективности бизнес-процессов в современных компаниях, в том числе в телекоммуникационной отрасли.

Особенности различий между автоматизацией и цифровизацией учета рассматриваются в публикации Афанасьевой Е.Ю. [1], где показано, что автоматизация должна сопровождаться стандартизацией процедур для достижения максимальной эффективности.

В работе Жердевой О.В., Корчагиной А.А. и Плетневой Е.Г. [2] рассматриваются методы автоматизации составления отчетности на основе трансляции и трансформации данных, что актуально для телекоммуникационных компаний, имеющих дело с большим объемом отчетной информации.

Кундиус В.А. и Журавлев И.Д. [3] подробно анализируют вопросы моделирования и оптимизации бизнес-процессов в организациях, подчеркивая важность адаптации процессов обработки отчетности к изменяющимся условиям внешней среды.

Мучинский А.В. [4] подчеркивает значение стандартизации хранения учетных данных для обеспечения достоверности и оперативности получения отчетной информации.

Николян Г.Ю. [5] рассматривает применение цифровых технологий в учете и анализе налоговых отчетов, демонстрируя потенциал аналогичных подходов в технической отчетности.

Плис С.А. и Идигова Л.М. [6] делают акцент на эффективной оптимизации бизнес-процессов как ключевом факторе повышения устойчивости компаний в условиях цифровизации.

Рахимов Г.М. [7] исследует проблемы внедрения цифровых технологий в бухгалтерский учет и аудит, что перекликается с задачами цифровизации процессов учета технического обслуживания в телекоммуникационной сфере.

Санарикова Асель и Кожахметова А.К. [8] выделяют перспективные направления использования искусственного интеллекта для оптимизации бизнес-процессов, что может стать следующей ступенью развития автоматизированных систем учета отчетности.

Смоленцев В.М. и Заика И.Т. [9] анализируют построение сети бизнес-процессов в телекоммуникационных компаниях, что особенно важно для правильной интеграции автоматизированных модулей в существующие системы.

Суворова С.Д. и Мозговая А.П. [10] акцентируют внимание на современных тенденциях оптимизации бизнес-процессов, среди которых автоматизация учета занимает важное место как средство повышения производительности и снижения операционных затрат.

Проведенный анализ литературы показывает высокую степень проработки вопросов автоматизации учета и обработки отчетности в научной среде и подтверждает актуальность выбранного направления исследования.

Научная новизна:
- Комплексная обработка архивов и Excel-файлов в едином PHP-модуле.
- Гибкая настройка параметров парсинга отчетов через веб-интерфейс с помощью настроек, хранящихся в таблицах БД.

Материалы и методы

Разработка модуля парсера была осуществлена с использованием языка программирования PHP и системы управления базами данных MySQL.

Для масштабирования работы парсера на новый тип ТО, ответственные лица вносят настройки для парсера, чтобы указать параметры парсинга отчетов. В настройках указывают тип ТО, обязательные листы для парсинга, ячейки из которых нужно получить данные, а также указывают наименование для данных, которые будут распарсены (из конкретного листа и ячейки).

Архивы с отчетами загружаются на сервер в определенную директорию или через веб-интерфейс системы. Каждый новый архив помечается в системе, как ожидающий обработки. После работы парсера, отчет отмечается, как обработанный.

Алгоритм процесса парсинга отчетов представлен на рисунке 1.

Алгоритм работы:
1. Загрузка отчета:
- Выбор способа загрузки (напрямую в файловую систему или через веб-интерфейс).

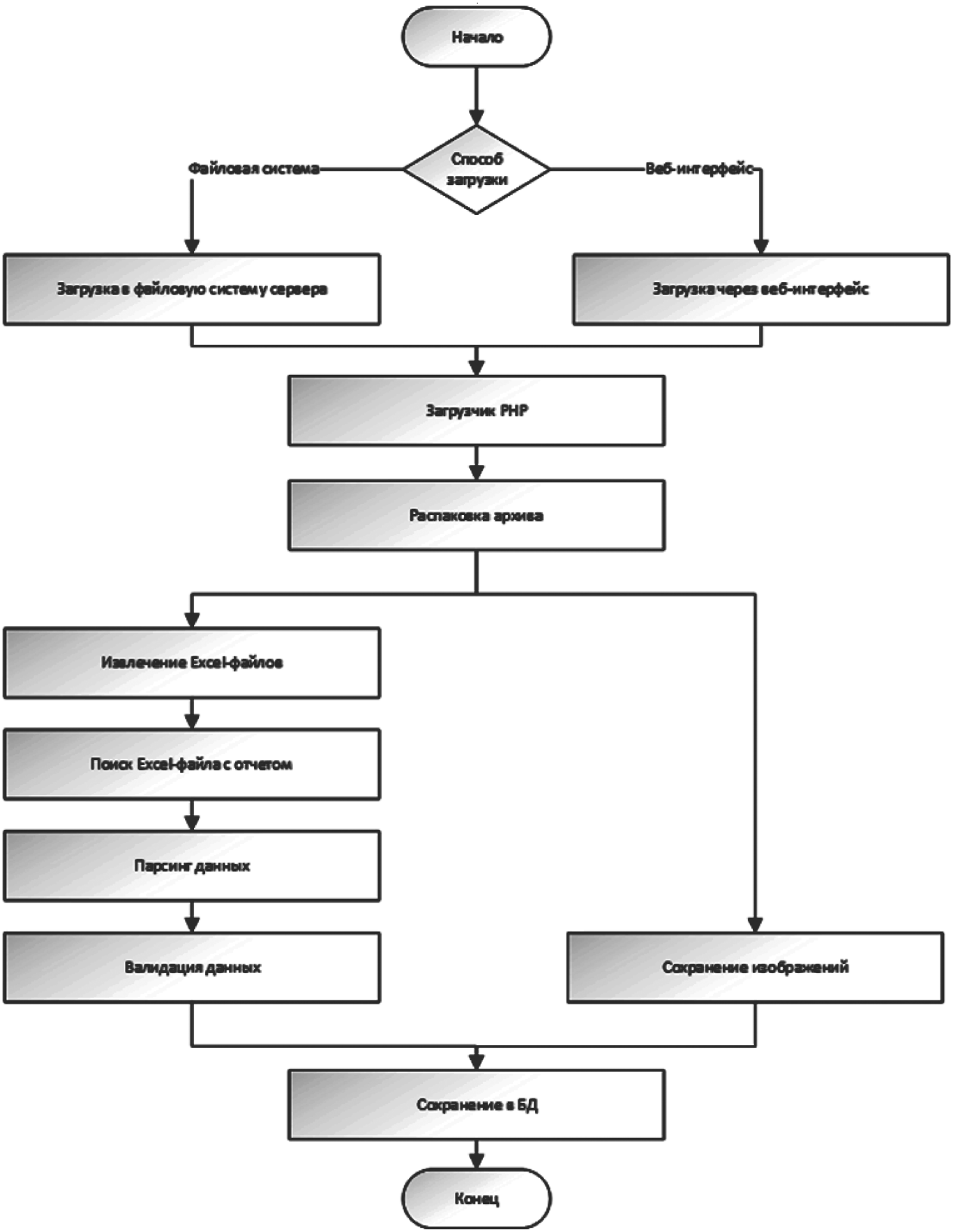


Рис. 1. Алгоритм процесса парсинга

- Загрузка отчета в систему, в зависимости от выбранного способа.

2. Выборка отчетов для парсинга:

- Парсер получает из БД список всех загруженных отчетов, стоящих в очереди на обработку. Дальше парсер поочередно обрабатывает каждый отчет.

3. Распаковка архива:

- Проверка формата (.zip/.rar/.7z).
- Рекурсивный поиск Excel-файлов (.xlsx/.xls/.xlsm) и изображений.

4. Обработка Excel:

- Извлечение из архива всех Excel-файлов во временную директорию.
- Получение из БД списка обязательных листов в отчете для конкретного типа ТО.
- Поиск среди извлеченных Excel-файлов файла, в котором будут все обязательные листы. Этот файл будет считаться файлом с отчетом и именно из него будут распарсены данные.
- Получение из БД списка данных с указанием ячеек, из которых их требуется извлечь.
- Чтение данных с использованием библиотек.
- Преобразование данных в ассоциативные массивы.

5. Сохранение данных в БД:

- Транзакционная вставка в MySQL.

Для хранения настроек парсера была разработана схема таблиц БД и связи между ними (см. рис. 2).

Для хранения настроек парсера было решено использовать 2 таблицы БД:

1. UniversalParserSettingsMain — Таблица с настройками для каждого типа ТО, какие листы нужно парсить.

- Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
- Поле ToTypeID — ID типа ТО из соответствующей таблицы. Тип int, не может быть NULL.
- Поле SheetName — Наименование листа из отчета. Тип varchar (31), не может быть NULL. Ограничение в 31 символ обусловлено максимально возможной длиной наименования листа в Excel.
- Поле IsRequired — Флаг, является ли лист обязательным. Тип bit, не может быть NULL.

2. UniversalParserSettingsParams — Таблица с правилами парсинга ячеек.

- Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
- Поле UniversalParserSettingsMainID — Уникальный идентификатор (поле ID) связанной записи из таблицы UniversalParserSettingsMain. Тип int, не может быть NULL.
- Поле Cell — Значение ячейки (например, «D7»), из которой необходимо извлечь данные. Тип varchar (20), не может быть NULL.
- Поле ParamName — Наименование параметра, который будет извлечен из указанной ячейки (требуется для последующего анализа распарсенных данных). Тип varchar (2000), не может быть NULL.

Для хранения распарсенных данных из отчетов была разработана схема таблиц БД и связи между ними (см. рис. 3).

1. UniversalParserParsedDataMain — Основная таблица с распарсенными файлами отчетов.

- Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
- Поле InsertTimestamp — Дата и время добавления записи в таблицу. Тип timestamp, не может быть NULL.
- Поле Year — Год проведенного ТО, по которому распарсились данные. Тип int, не может быть NULL.
- Поле ERP — ERP проведенного ТО, по которому распарсились данные. Тип varchar (11), не может быть NULL. Количество символов обусловлено длиной ERP кода в компании.
- Поле ToTypeID — ID типа ТО из соответствующей таблицы для проведенного ТО, по которому распарсились данные. Тип int, не может быть NULL.

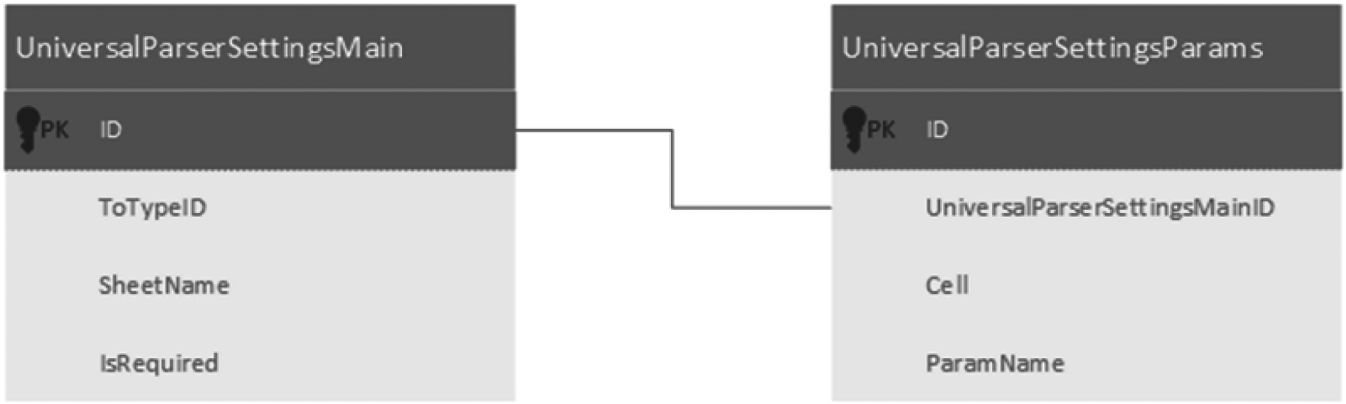


Рис. 2. Схема таблиц БД для настроек парсера

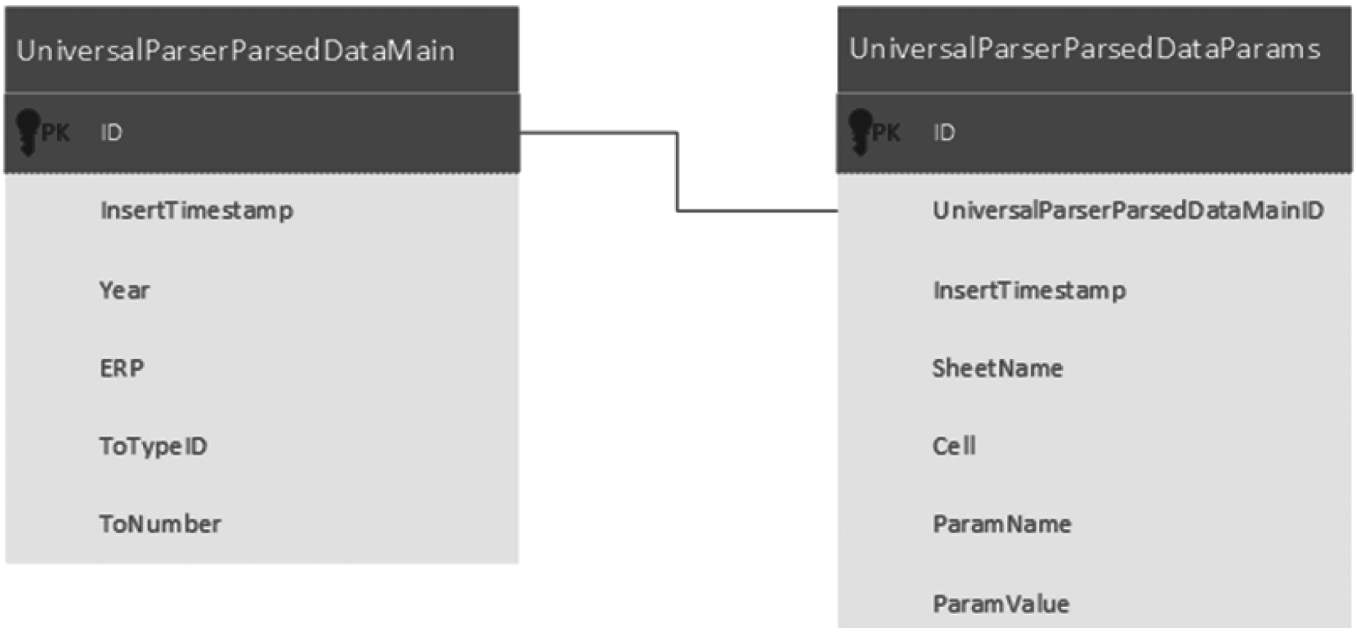


Рис. 3. Схема таблиц БД для распарсенных данных

- Поле ToNumber — Номер проведенного ТО, по которому распарсились данные. Тип int, не может быть NULL.

2. UniversalParserParsedDataParams — Таблица с самими распарсенными данными.

- Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
- Поле UniversalParserParsedDataMainID — Уникальный идентификатор (поле ID) связанной записи из таблицы UniversalParserParsedDataMain. Тип int, не может быть NULL.
- Поле InsertTimestamp — Дата и время добавления записи в таблицу. Тип timestamp, не может быть NULL.
- Поле SheetName — Наименование листа из отчета. Тип varchar (31), не может быть NULL. Ограничение в 31 символ обусловлено максимально возможной длиной наименования листа в Excel.
- Поле Cell — Значение ячейки (например, «D7»), из которой необходимо извлечь данные. Тип varchar (20), не может быть NULL.
- Поле ParamName — Наименование параметра, который был извлечен из указанной ячейки (требуется для последующего анализа распарсенных данных). Тип varchar (2000), не может быть NULL.
- Поле ParamValue — Значение параметра, которое было извлечено из указанной ячейки. Тип varchar (2000), не может быть NULL.

Результаты

В ходе работы был разработан и внедрен модуль универсального парсера отчетов о проведенном техническом обслуживании базовых станций в ПАО «Вымпелком».

Результаты тестирования и внедрения показали:

- Автоматизация обработки 95 % отчетов: система автоматически извлекает данные из архивов различного формата (.zip, .rar, .7z) и загружает их в централизованную базу данных.
- Сокращение времени обработки: время на обработку одного отчета снизилось в среднем с 3 часов до 7–10 минут (включая парсинг и последующий анализ полученных данных ответственным лицом).
- Снижение ошибок ручного ввода: количество ошибок в отчетности, связанных с обработкой отчетов, уменьшилось с 20 % до 2 %.
- Оптимизация работы сотрудников: высвобождено около 70 % рабочего времени специалистов, ранее задействованных в ручной обработке отчетов.
- Экономия ресурсов компании: уменьшение затрат на ручной труд и исправление ошибок в документации.

Обсуждение

Результаты подтверждают, что автоматизация процессов обработки отчетности значительно повышает эффективность операционной деятельности. Разработанный модуль показал преимущество перед альтернативными решениями благодаря:

- Комплексной обработке архивов и вложенных файлов Excel в едином программном контуре.
- Простоте настройки новых шаблонов отчетности через веб-интерфейс без необходимости переписывать код.
- Высокой производительности и отказоустойчивости.

Ограничения текущей версии включают максимальный размер обрабатываемого архива (500 МБ) из-за ограничений PHP и отсутствие автоматического распознавания информации с вложенных изображений.

Проведенные оптимизации, такие как кеширование в Redis и пакетная вставка в БД, позволили ускорить работу модуля при высоких нагрузках.

Дополнительные исследования и разработки направлены на расширение функционала за счет интеграции OCR-технологий.

Заключение

Разработанный модуль универсального парсера отчетов успешно решает задачи автоматизации учета отчетности о проведенном техническом обслуживании базовых станций.

Реализация данного решения позволила добиться существенного повышения эффективности бизнес-процессов компании, снизить вероятность ошибок и значительно сократить трудозатраты сотрудников.

Внедрение модуля в промышленную эксплуатацию в ПАО «Вымпелком» подтвердило его практическую ценность и эффективность.

Перспективы развития проекта включают:

- Интеграцию OCR-модулей для обработки текстовой информации на фотографиях.
- Автоматическое определение структуры новых типов отчетов с применением технологий машинного обучения.

Таким образом, разработанное решение является важным шагом в направлении цифровизации операционных процессов телекоммуникационных компаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьева Е.Ю. Автоматизация и цифровизация бухгалтерского учета: сходства и различия // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки. 2021. №6. С. 9–14. DOI: 10.52928/2070–1632–2021-57-6-9-14
2. Жердева О.В., Корчагина А.А., Плетнева Е.Г. Автоматизация составления отчетности по МСФО на основе методов трансляции и трансформации // Естественно-гуманитарные исследования. 2023. № 1 (45). С. 125–130.
3. Кундиус В.А., Журавлев И.Д. Моделирование и оптимизация бизнес-процессов в управлении организацией // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. №11–2. С. 77–81. DOI: 10.24411/2411–0450-2020-10928.
4. Мучинский А.В. Автоматизация и стандартизация учета и хранения // Форум молодых ученых. 2020. №2 (42). С. 232–237.
5. Николян Г.Ю. Использование цифровых технологий в учете и анализе налоговых отчетов // Вестник науки. 2024. №6 (75). С. 213–221.
6. Плис С.А., Идигова Л.М. Эффективная оптимизация бизнес-процессов — основа выбора стратегии компаний в условиях цифровизации // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. №11–2 (86). С. 137–140. DOI: 10.24412/2500–1000-2023-11-2-137–140.
7. Рахимов Г.М. Проблемы использования цифровых технологий в бухгалтерском учете и аудите // The Scientific Heritage. 2022. №91. С. 35–39. DOI: 10.5281/zenodo.6695727
8. Санарикова Асель, Кожахметова А.К. Оптимизация бизнес-процессов с помощью искусственного интеллекта: перспективы и вызовы // ELS. 2025. №28 февраль ИН. С. 137–142.
9. Смоленцев В.М., Заика И.Т. Моделирование сети бизнес-процессов телекоммуникационной компании // Научный журнал КубГАУ. 2013. №89. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-seti-biznes-protsessov-telekommunikatsionnoy-kompanii (дата обращения: 27.04.2025).
10. Суворова С.Д., Мозговая А.П. Оптимизация бизнес-процессов: современное состояние исследований и проблемы практической реализации // Прогрессивная экономика. 2023. №7. С. 64–89. DOI: 10.54861/27131211_2023_7_64.

© Ильин Илья Игоревич (hitsukey@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.26

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МОДУЛЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО СБОРЩИКА ОТЧЕТОВ О ПРОВЕДЕННОМ ТО ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА ОТЧЕТНОСТИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ КОМПАНИИ: АРХИТЕКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A UNIVERSAL COLLECTOR MODULE FOR REPORTS ON CONDUCTED MAINTENANCE FOR AUTOMATION OF REPORTING IN A TELECOMMUNICATION COMPANY: ARCHITECTURE AND FUNCTIONALITY

I. Ilyin

Summary. The article presents the results of the development and implementation of a module for a universal collector of reports on the technical maintenance (TM) of base stations, implemented for the telecommunications company PJSC VimpelCom. The main objective of the study was to create a flexible tool that allows standardizing the reporting process while maintaining the possibility of manual control by users. The developed solution provides an intuitive interface for selecting key sheets of Excel files and determining significant cells containing critical data on the work performed. The development methodology included the use of modern web technologies based on PHP and MySQL, using specialized libraries for processing file data (for working with Excel and for creating archives). Particular attention was paid to the system architecture, which ensures reliable storage of reports and accompanying photo materials with the possibility of their subsequent audit. The implementation of the module was accompanied by comprehensive testing in real operating conditions of PJSC VimpelCom.

The results of the implementation showed a significant improvement in key indicators: the number of data entry errors when generating reports decreased to an average of 2 % per report, document processing time decreased by an average of 95 %, and document flow transparency increased due to automatic recording of metadata (date/time of download, user IDs). The data obtained confirm the effectiveness of the proposed approach and its potential for scaling to other telecommunications companies.

The study demonstrates the relevance of developing specialized solutions for automating reporting management in the telecommunications industry, combining the flexibility of manual control with the benefits of system standardization. Further prospects for the work are associated with the integration of machine learning mechanisms for automatically identifying significant data in reports.

Keywords: automation of accounting, data archiving, databases, report collector, telecommunications, technical maintenance.

Ильин Илья Игоревич
Аспирант, ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет Станкин»
hitsukey@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты разработки и внедрения модуля универсального сборщика отчетов о проведении технического обслуживания (ТО) базовых станций, реализованного для телекоммуникационной компании ПАО «Вымпелком». Основная цель исследования заключалась в создании гибкого инструмента, позволяющего стандартизировать процесс формирования отчетности при сохранении возможности ручного контроля со стороны пользователей. Разработанное решение предоставляет интуитивно понятный интерфейс для выбора ключевых листов Excel-файлов и определения значимых ячеек, содержащих критически важные данные о проведенных работах.

Методология разработки включала применение современных веб-технологий на базе PHP и MySQL, с использованием специализированных библиотек для обработки файловых данных (для работы с Excel и для создания архивов). Особое внимание уделено архитектуре системы, обеспечивающей надежное хранение отчетов и сопутствующих фотоматериалов с возможностью их последующего аудита. Внедрение модуля сопровождалось комплексным тестированием в реальных условиях эксплуатации ПАО «Вымпелком».

Результаты внедрения показали значительное улучшение ключевых показателей: количество ошибок ввода данных при формировании отчетов снизилось в среднем до 2 % на отчет, время обработки документов сократилось в среднем на 95 %, а прозрачность документооборота повысилась за счет автоматической фиксации метаданных (дата/время загрузки, идентификаторы пользователей). Полученные данные подтверждают эффективность предложенного подхода и его потенциал для масштабирования на другие телекоммуникационные компании.

Исследование демонстрирует актуальность разработки специализированных решений для автоматизации управления отчетностью в телекоммуникационной отрасли, сочетающих гибкость ручного контроля с преимуществами системной стандартизации. Дальнейшие перспективы работы связаны с интеграцией механизмов машинного обучения для автоматического определения значимых данных в отчетах.

Ключевые слова: автоматизация учета, архивирование данных, базы данных, сборщик отчетов, телекоммуникации, техническое обслуживание.

Введение

Современные телекоммуникационные компании, такие как ПАО «Вымпелком», ежедневно сталкиваются с необходимостью аккумулирования больших объемов отчетной информации о проведении технического обслуживания базовых станций. Стандартизация процессов учета и обеспечение надежного хранения информации требуют внедрения эффективных решений.

Ручное формирование отчетов приводит к высокому уровню ошибок и значительным затратам времени сотрудников компании. Поэтому автоматизация формирования отчетности становится необходимой мерой повышения эффективности бизнес-процессов.

Одной из задач является организация централизованного процесса формирования и загрузки отчетов, в котором пользователи участвуют напрямую: заполняют шаблоны отчетов, прикладывают подтверждающие материалы и контролируют статус своей отчетности.

Цель настоящей работы — разработать модуль универсального сборщика отчетов о проведении ТО базовых станций, обеспечивающий упрощение и автоматизацию процедур формирования, загрузки и управления отчетами.

Литературный обзор

В условиях цифровизации экономики автоматизация учета отчетности и документооборота приобретает всё большее значение.

Исследование Адаменко А.А., Хорольской Т.Е. и Корчагиной А.А. [1] рассматривает особенности электронного документооборота, выделяя его преимущества перед традиционными бумажными процессами.

В работе Афанасьевой Е.Ю. [2] подчеркивается необходимость интеграции цифровых технологий в бухгалтерский учет для повышения точности и оперативности обработки данных. Это подтверждает необходимость автоматизации процессов формирования отчетности для повышения точности и сокращения временных затрат.

Работа Конобевцева Ф.Д. [3] изучает цифровизацию кадрового документооборота и поднимает вопросы безопасности и стандартизации процессов.

Важная роль цифровизации бухгалтерского учета в трансформации профессии бухгалтера и учетных процедур освещается в статье Коноваленко И.Е., Вернико-ва В.А. и Корниловой Э.С. [4].

Работа Ланской Д.В. и Глазкиной В.Ф. [5] посвящена анализу электронного и цифрового документооборота в кадровых службах, что напрямую связано с унификацией процессов хранения и обработки отчетных данных.

Авторы Минеева Т.Г. и Иммаева Б.А. [6] акцентируют внимание на внедрении инноваций в систему документационного обеспечения органов власти, что может быть экстраполировано на корпоративный сектор.

В статье Мирошниченко М.А. и Коробковой Н.Ю. [7] рассматриваются новые требования к системам обеспечения документационного управления в цифровой экономике.

Исследование Пономаренко Н.Ш. и Рютиной Е.В. [8] обсуждает особенности документооборота в условиях цифровизации и необходимость пересмотра традиционных подходов к учету.

Статья Реутова С.В. [9] анализирует способы автоматизации документооборота на предприятиях, акцентируя внимание на применении современных программных решений.

Наконец, в статье Смицких К.В. и Бершовой Е.А. [10] подробно анализируется использование цифровых технологий в учетных операциях, что способствует более эффективному сбору, хранению и обработке отчетности.

Проведенный обзор литературы подтверждает высокую актуальность темы автоматизации сбора и учета отчетности. Анализ современных научных исследований обосновывает необходимость комплексного подхода к разработке универсального сборщика отчетов для телекоммуникационных компаний в условиях цифровой трансформации.

Материалы и методы

Модуль сборщика разработан на языке программирования PHP и взаимодействует с БД MySQL. Модуль включает следующие основные компоненты:

- Веб-интерфейс для настройки параметров сборщика отчетов.
- Механизм формирования Excel-файлов (.xlsx) с данными о проведенном ТО.
- Механизм упаковки собранных Excel-файлов отчета и фотографий в архив (при настройке сборщика можно указать требуемый формат архива — .rar/.zip/.7z).
- Сервис хранения архивов.

Такая архитектура позволяет легко адаптировать систему под новые форматы отчетов.

Для добавления нового типа ТО в модуль сборщика отчетов, ответственные лица вносят настройки для сборщика через веб-интерфейс.

В настройках для каждого типа ТО указывается:

- Один или несколько файлов, при этом для каждого файла указывается его имя и шаблон (если такой есть).
- Для каждого файла указываются листы.
- Для каждого листа указываются ячейки, которые необходимо заполнить статичными данными (текст) или параметризированными данными (например, исполнитель работ).

После того, как техническое обслуживание проведено и данные попали в соответствующие таблицы БД, это ТО попадает в очередь на сборку отчета. После работы сборщика, в карточке ТО отмечается, что отчет сформирован, и прикрепляется ссылка на него.

Алгоритм процесса сборки отчета представлен на рисунках 1, 2, 3.

Алгоритм работы:

1. Получение из БД параметров сборщика для текущего типа ТО.
2. Получение списка уникальных названий файлов, которые необходимо сформировать для текущего типа ТО.
3. Формирование файлов в цикле:

3.1. Создание Excel-файла по шаблону (если он предусмотрен), либо без шаблона. Имя файла указывается в соответствии с полученными данными.

3.2. Получение списка уникальных названий листов, которые необходимо создать в текущем файле.

3.3. Формирование листов в цикле:

3.3.1. Создание листа в Excel-файле. Имя листа указывается в соответствии с полученными данными.

3.3.2. Получение набора данных, которые необходимо разместить в текущем листе. Каждый элемент набора данных содержит информацию о ячейке (в которой он должен быть размещен), о типе (статичный текст или параметризированные данные), само значение (для статичных данных) или ключевое слово (для параметризированных).

3.3.3. Заполнение листа данными в цикле:

3.3.3.1. Определение типа данных (статичные или параметризированные).

3.3.3.2. Получение из источника данных значений (для параметризированных данных).

3.3.3.3. Запись значения в ячейке.

4. Скачивание фотографий из источника данных.
5. Упаковка собранных Excel-файлов и фотографий в архив.
6. Размещение архива на сервере.
7. Формирование ссылки на архив.
8. Прикрепление ссылки на архив к карточке проведенного ТО в системе.

Для хранения настроек сборщика разработана схема таблиц БД и связи между ними (см. рис. 4).

Для хранения настроек сборщика используются 6 таблиц БД:

1. ReportConstructorTemplate — Таблица с путями к шаблонам. По ID или по типу ТО и наименованию файла из этой таблицы можно получить шаблон, который ему предназначен.
   - Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
   - Поле ToTypeID — ID типа ТО из соответствующей таблицы. Тип int, не может быть NULL.
   - Поле FileName — Наименование файла, для которого этот шаблон требуется сформировать. Тип varchar (500), не может быть NULL.
   - Поле TemplatePath — Путь к шаблону на сервере. Тип varchar (500), не может быть NULL.
2. ReportConstructorParamType — Таблица с типами параметров. По ID можно получить название и описание типа.
   - Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
   - Поле Name — Наименование типа параметра. Тип varchar (500), не может быть NULL.
   - Поле Description — Наименование типа параметра. Тип varchar (1000), не может быть NULL.
3. ReportConstructorToType — Таблица с Типами ТО, добавленными в сборщик. Если тип, ТО указан в этой таблице — считается, что для него нужно собирать отчет автоматически.
   - Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
   - Поле ToTypeID — ID типа ТО из соответствующей таблицы. Тип int, не может быть NULL.
4. ReportConstructorToTypeFile — Таблица со связками Типов ТО и файлов.
   - Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
   - Поле ReportConstructorToTypeID — Уникальный идентификатор (поле ID) связанной записи из таблицы ReportConstructorToType. Тип int, не может быть NULL.
   - Поле FileName — Наименование файла, который требуется сформировать. Тип varchar (500), не может быть NULL.
   - Поле ReportConstructorTemplateID — Уникальный идентификатор (поле ID) связанной записи из таблицы ReportConstructorTemplate. Тип int, не может быть NULL.
5. ReportConstructorFilePage — Таблица со связками файлов и листов.

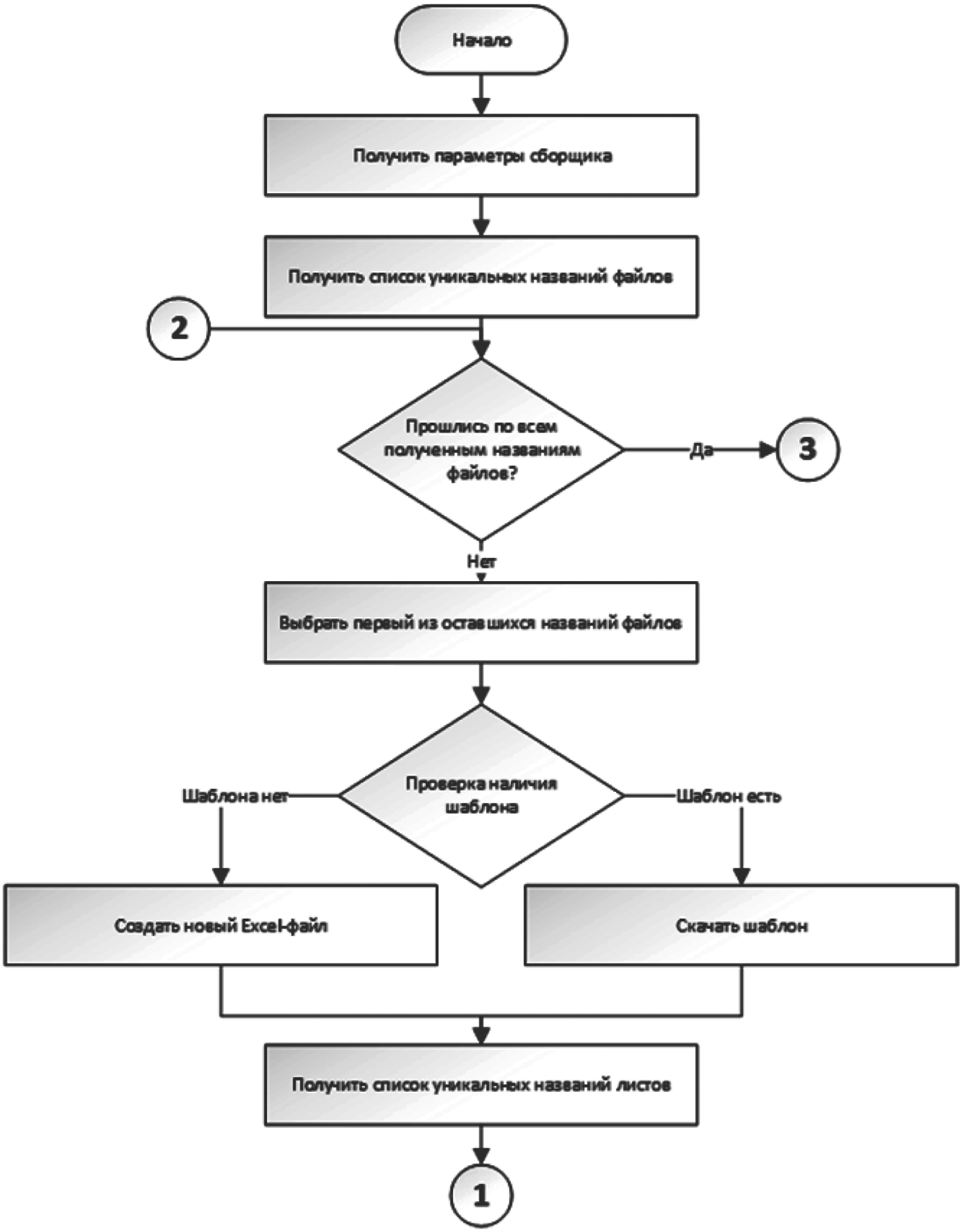


Рис. 1. Алгоритм процесса сборки отчета — часть 1

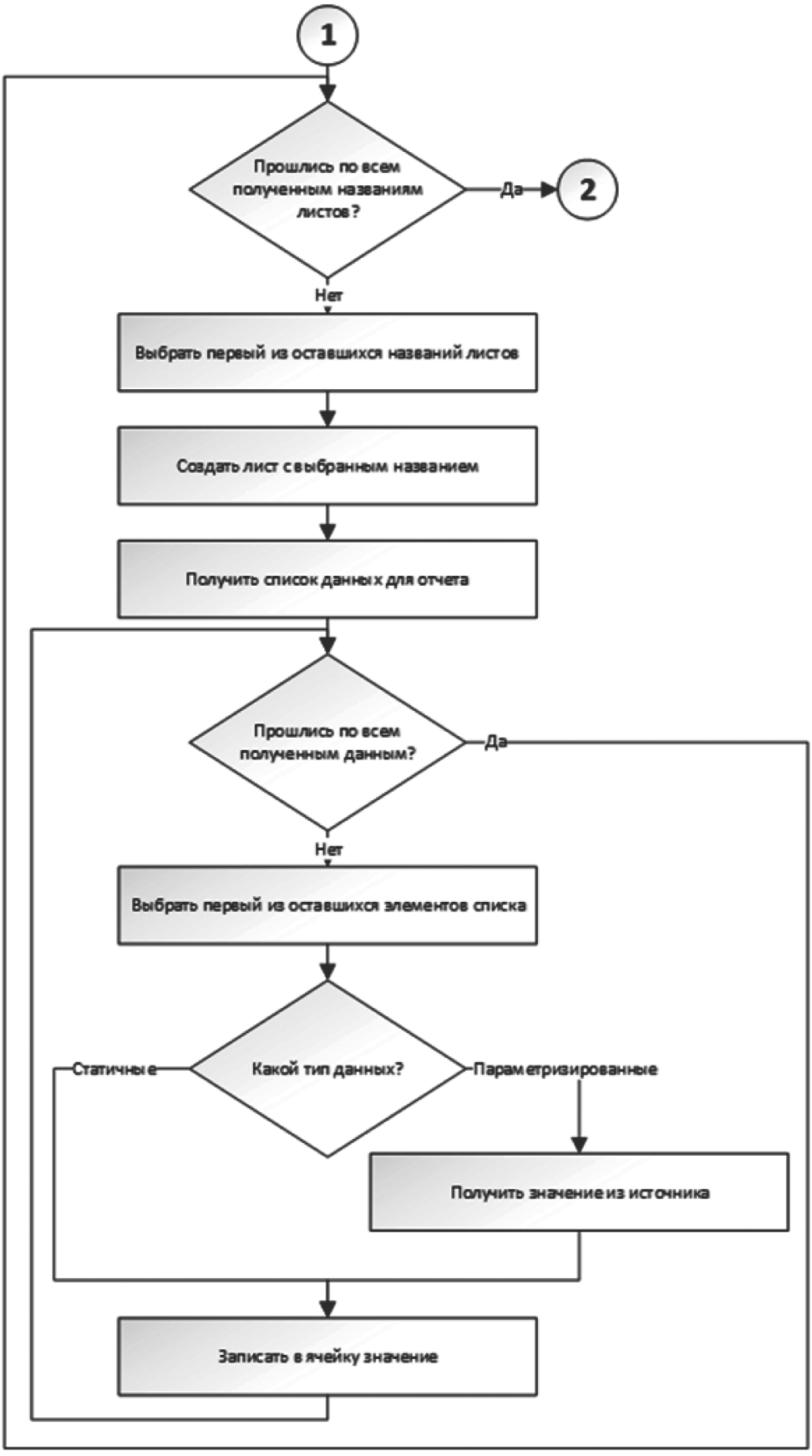


Рис. 2. Алгоритм процесса сборки отчета — часть 2



Рис. 3. Алгоритм процесса сборки отчета — часть 3

- Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
- Поле ReportConstructorToTypeFileID — Уникальный идентификатор (поле ID) связанной записи из таблицы ReportConstructorToTypeFile. Тип int, не может быть NULL.
- Поле PageName — Наименование листа из отчета. Тип varchar (31), не может быть NULL. Ограничение в 31 символ обусловлено максимально возможной длиной наименования листа в Excel.

6. ReportConstructorPageCell — Таблица со связками листов и ячеек.

- Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
- Поле ReportConstructorFilePageID — Уникальный идентификатор (поле ID) связанной записи из таблицы ReportConstructorFilePage. Тип int, не может быть NULL.
- Поле Cell — Значение ячейки (например, «D7»), в которую необходимо положить данные. Тип varchar(20), не может быть NULL.
- Поле ReportConstructorParamTypeID — Уникальный идентификатор (поле ID) связанной записи из таблицы ReportConstructorParamType. Тип int, не может быть NULL.
- Поле Value — Значение параметра (статичный текст или ключ, по которому будет произведен поиск значения в соответствующей таблице), которое будет положено в указанную ячейку. Тип varchar(2000), не может быть NULL.

Для хранения данных, из которых должен собираться отчет, разработана схема таблиц БД и связи между ними (см. рис.5).

1. ReportConstructorPreparedDataMain — Таблица с данными для сборки отчетов — основные данные.

- Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
- Поле Year — Год проведенного ТО, по которому будет собираться отчет. Тип int, не может быть NULL.
- Поле ERP — ERP проведенного ТО, по которому будет собираться отчет. Тип varchar (11), не может быть NULL. Количество символов обусловлено длиной ERP кода в компании.
- Поле ToTypeID — ID типа ТО из соответствующей таблицы для проведенного ТО, по которому будет собираться отчет. Тип int, не может быть NULL.
- Поле ToNumber — Номер проведенного ТО, по которому будет собираться отчет. Тип int, не может быть NULL.

2. ReportConstructorPreparedDataParams — Таблица с данными для сборки отчетов — параметры.

- Поле ID (первичный ключ) — Уникальный идентификатор записи в таблице. Тип int, не может быть NULL.
- Поле ReportConstructorPreparedDataMainID — Уникальный идентификатор (поле ID) связанной записи из таблицы ReportConstructorPreparedDataMain. Тип int, не может быть NULL.
- Поле ParamName — Наименование параметра, значение которого будет размещено в отчете. Тип varchar (500), не может быть NULL.
- Поле ParamValue — Значение параметра, которое будет размещено в отчете. Тип varchar (2000), не может быть NULL.

Результаты

В ходе работы был разработан модуль универсального сборщика отчетов о проведенном техническом обслуживании базовых станций.



Рис. 4. Схема таблиц БД для настроек сборщика

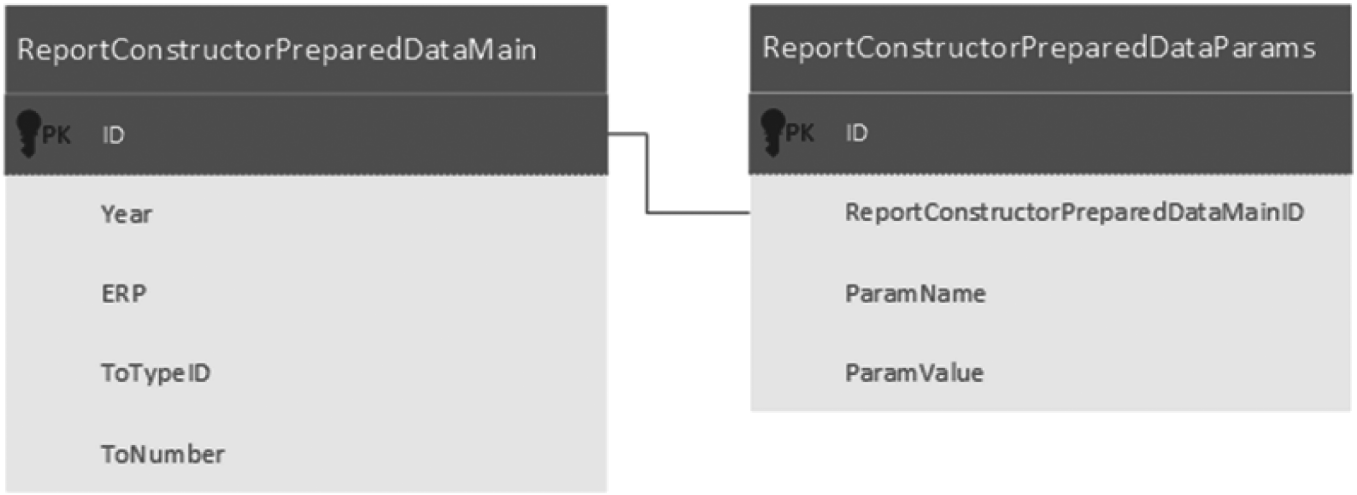


Рис. 5. Схема таблиц БД для подготовленных данных

Внедрение разработанного модуля в ПАО «Вымпелком» дало следующие результаты:

- Сокращение времени формирования отчетов по полученным данным в среднем с 30–40 минут до 1–2 минут.
- Снижение количества ошибок ввода данных при формировании отчетов в среднем до 2 % на отчет.
- Существенная экономия трудозатрат сотрудников за счет того, что они больше не участвуют в формировании отчетов.
- Повышение оперативности получения аналитических данных о состоянии базовых станций.

Обсуждение

Разработка модуля сборщика отчетов продемонстрировала высокую эффективность при автоматизации процесса управления отчетной документацией.

Ключевыми преимуществами модуля являются:

- Интуитивный веб-интерфейс для управления настройками сборщика отчетов.
- Автоматическое формирование отчетов и их архивирование без участия оператора.
- Возможность автоматической обработки собираемых отчетов за счет их стандартизации.
- Повышение безопасности хранения отчетности.
- Повышение целостности данных.

К ограничениям текущей версии можно отнести необходимость ручного управления настройками сборщика отчетов для каждого типа ТО, что требует минимальной подготовки персонала.

Перспективные направления развития модуля включают внедрение валидации данных на этапе загрузки и расширение интеграции с системами внутреннего контроля качества обслуживания базовых станций.

Заключение

Разработка и внедрение модуля универсального сборщика отчетов о проведении технического обслуживания базовых станций в ПАО «Вымпелком» позволили значительно оптимизировать процессы формирования, загрузки и контроля отчетности. Реализация модуля обеспечила сокращение времени обработки отчетов, повышение качества заполнения данных за счет стандартизации шаблонов, а также повышение безопасности хранения данных.

В качестве перспектив развития модуля рассматриваются внедрение механизмов автоматической валидации данных на этапе загрузки, что позволит сократить количество ошибок при заполнении отчетов пользователями. Также планируется расширение возможностей системы за счет интеграции с другими корпоративными платформами, такими как внутренние системы контроля качества, базы данных оборудования и службы технической поддержки. Внедрение модуля открыло дополнительные перспективы для дальнейшей автоматической обработки собранных отчетов, включая анализ загруженных данных без необходимости ручной проверки, что существенно повышает эффективность операционной деятельности компании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адаменко А.А., Хорольская Т.Е., Корчагина А.А. Особенности осуществления электронного документооборота в современных условиях // Деловой вестник предпринимателя. 2022. №1 (7). С. 6–10. DOI: 10.24412/2687–0991-2022-1-7-6–10
2. Афанасьева Е.Ю. Автоматизация и цифровизация бухгалтерского учета: сходства и различия // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки. 2021. №6. С. 9–14. DOI: 10.52928/2070–1632–2021-57-6-9-14
3. Конобевцев Ф.Д. Цифровизация кадрового документооборота // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. 2022. №6. С. 63–66. DOI: 10.12737/2305–7807-2022-11-6-63–66
4. Коноваленко И.Е., Верников В.А., Корнилова Э.С. Роль цифровизации в трансформации профессии бухгалтера и управления персоналом // Информатизация в цифровой экономике. 2022. Т.3, №3. С. 149–160.
5. Ланская Д.В., Глазкина В.Ф. Электронный и цифровой документооборот в кадровой службе: анализ понятий и различий структуры // Естественно-гуманитарные исследования. 2024. №5 (55). С. 543–548.
6. Минеева Т.Г., Иммаева Б.А. Инновации в деятельности органов исполнительной власти по автоматизации и цифровизации документационных процессов // Юридическая техника. 2021. №15. С. 529–535.
7. Мирошниченко М.А., Коробкова Н.Ю. Новые требования к системе документационного обеспечения управления организаций в период цифровой трансформации // Общество и экономика знаний, управление капиталами: цифровая экономика знаний: Материалы XII Международная научно-практическая конференция, Краснодар, 27–28 мая 2022 года. — Краснодар: Кубанский государственный университет. 2022. С. 330–337.
8. Пономаренко Н.Ш., Рютина Е.В. Особенности документооборота в контексте цифровизации // Документ. Архив. История. Современность. 2020. № 20. С. 223–232.
9. Реутов С.В. Способы автоматизации и цифровизации производства // Развитие современных исследований: проблемы и перспективы: сборник докладов Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 29 января 2020 года. — Санкт-Петербург: ЕНМЦ «Мультидисциплинарные исследования», 2020. С. 52–55.
10. Смицких К.В., Бершова Е.А. Использование цифровых технологий в учётных операциях // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, Москва, 30 марта 2023 года. — Москва: Алеф. 2023. С. 506–511.

© Ильин Илья Игоревич (hitsukey@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.27

КРИТЕРИИ АВТОМАТИЗИРУЕМОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОБУЧАЮЩИХСЯ

EDUCATIONAL PROCESS AUTOMATIZABILITY CRITERIA FOR ASSESSING THE INTELLECTUAL POTENTIAL OF STUDENTS

I. Isaeva
G. Gabrielyan
K. Potapova

Summary. This article analyzes the relevance of the automation of the educational process in the current conditions of digital transformation of education. Different models and variants of information technology implementation in educational activity are considered. Within the framework of the study a comparative analysis of the possibilities of using information technologies is carried out, the key features and advantages of each approach are revealed. The article formulates and substantiates the general criteria of educational process automation, which include technical, methodological and organizational aspects. Automation of the processes of knowledge control and monitoring of learning activities is considered as a key factor in improving the quality of education. The study emphasizes the importance of the automated educational process for objective and comprehensive assessment of students' intellectual potential, which contributes to the personalization of learning and improving its performance.

Keywords: educational process, task generation, automatizability, assessment, intellectual potential.

Исаева Ирина Андреевна
старший преподаватель, МИРЭА — Российский технологический университет
isaeva_i@mirea.ru
Габриелян Гайк Ашотович
старший преподаватель, МИРЭА — Российский технологический университет
gabrielyan@mirea.ru
Потапова Ксения Александровна
старший преподаватель, МИРЭА — Российский технологический университет
potapova_k@mirea.ru

Аннотация. В данной статье проводится анализ актуальности автоматизации образовательного процесса в современных условиях цифровой трансформации образования. Рассматриваются различные модели и варианты внедрения информационных технологий в образовательную деятельность. В рамках исследования выполнен сравнительный анализ возможностей использования информационных технологий, выявлены ключевые особенности и преимущества каждого из подходов. В статье формулируются и обосновываются общие критерии автоматизируемости образовательного процесса, которые включают технические, методологические и организационные аспекты. Автоматизация процессов контроля знаний и мониторинга учебной деятельности рассматривается как ключевой фактор повышения качества образования. В исследовании подчеркивается значимость автоматизированного образовательного процесса для объективной и комплексной оценки интеллектуального потенциала обучающихся, что способствует персонализации обучения и повышению его результативности.

Ключевые слова: образовательный процесс, генерация заданий, автоматизируемость, оценка, интеллектуальный потенциал.

Введение

В настоящее время, в связи с развитием информационных технологий и частичным внедрением технологий дистанционного обучения в образовательный процесс, все больше начинает рассматриваться актуальность автоматизируемости образовательного процесса.

Одним из направлений внедрения информационных технологий в жизнь людей является такая сфера, как образование. Всё больше начинает развиваться электронное образование, которое получило название eLearning. Электронное обучение может использоваться как для обучения в образовательных организациях, так и на предприятиях, для обучения и организации повышения квалификации сотрудников.

Под электронным обучением (eLearning) понимается самостоятельное обучение с использованием персонального компьютера, смартфона, VR-тренажера или другого цифрового устройства [1].

Для обеспечения возможности автоматизации образовательного процесса необходимо понять, в чем может быть выражена автоматизация и какие преимущества от ее использования могут быть.

За счет применения автоматизированного образовательного процесса можно постоянно проводить мо-

ниторинг и контроль интеллектуальному потенциала каждого отдельного обучающегося, так и группы лиц, что позволит адаптивно вносить изменения в образовательный процесс, облегчая или усложняя его.

Подходы к применению информационных технологий в образовательном процессе

Применение информационных технологий в образовательном процессе возможно для достижения разных целей, как для обеспечения коммуникации с обучающимися [2], когда создаются личные кабинеты, в которых хранится личная информация об обучающихся и куда поступают основные новости о деятельности образовательной организации, так и непосредственно для обеспечения всего учебного процесса [3].

Можно сказать, что сейчас также набирает популярность ведения образовательного процесса с использованием ИТ-ассистента. Он уже используется в бизнес-образовании: в качестве примеров можно привести программное обеспечение для перевода, проверки на плагиат, но потенциал его дальнейшего развития огромен. ИТ-ассистент не стремится заменить преподавателей, а скорее является его помощником. Еще одна ключевая роль ИТ-ассистента заключается в обеспечении кибербезопасности. На основе прошлых инцидентов он определяет тенденции и может предупреждать и давать рекомендации для повышения уровня безопасности [4].

Кроме того, возможно внедрение e-learning для адаптивного управления знаниями. Такой подход применяется в бизнес-образовании, ведь в какой-то момент библиотека знаний становится настолько большой, что изучить все материалы просто невозможно. Но при этом важно, чтобы сотрудники шагали в ногу с компанией, оперативно получали новые знания и устраняли пробелы в существующих компетенциях. С такой проблемой столкнулись в магазине спортивных товаров, поэтому там была внедрена система управления знаниями. Она определяет уровень подготовки сотрудника и составляет ему индивидуальную программу обучения из существующих учебных материалов. Так сотрудник получает только нужную ему информацию, и значит он больше вовлечен в процесс обучения [1].

Подходы к автоматизируемости образовательного процесса и выявление критериев

Могут быть рассмотрены различные варианты автоматизированного образовательного процесса:

- автоматизированная проверка знаний обучающихся (как самая простая, реализуемая в том числе с помощью тестов, в которых надо выбирать один или несколько правильных ответов из предложенных вариантов, или ввод обучающимися собственных вариантов ответа, так и более сложная, основанная на использовании различных методов и алгоритмов для проверки правильности решения заданий обучающимися);
- автоматизированная генерация и выдача задач обучающимся, то есть подготовка индивидуальных вариантов задач для каждого из студента;
- наличие информационного ресурса для просмотра результатов выполнения практических работ и замечаний или комментариев к работе.

Для автоматизированной проверки знаний обучающихся с использованием тестов в настоящее время уже создано большое количество платформ, где преподаватель может размещать различные тесты, которые дают возможность задавать правильные ответы и тип вопросов (с одиночным или множественным вариантом ответа), определять минимальный и максимальный балл за каждый из вопросов, задавать количество попыток и время на выполнение теста. Несомненным преимуществом данного подхода является минимизация затраченного преподавателем времени на проверку однотипных заданий. Недостатком является отсутствие возможности в полной мере оценить понимание дисциплины обучающимися. Можно сказать, что такой вариант можно использовать в качестве промежуточных срезов знаний, таких как контрольные работы в течение семестра. Применение тестирования в сфере образования является оптимальным вариантом, и позволяет оценить как результат конкретного обучающегося, так и результат группы студентов [5].

Автоматизированная проверка знаний, основанная на использовании специальных алгоритмов, может быть реализована различными способами, в том числе за счет создания тест-кейсов для каждого типа выданной обучающимся задач. Преимуществом данного метода является возможность более глубокой проверки знаний за счет выдачи и последующей проверки задач. Недостатком является отсутствие специальных платформ и соответственно более сложная реализация данного способа с точки зрения преподавателя.

В качестве преимущества использования автоматизированной проверки знаний можно выделить уменьшение необходимых требуемых у преподавателя ресурсов (в том числе времени) на проверку большого количества выданных обучающимся задач.

В качестве недостатка можно выделить, что часто у одной задачи может быть несколько путей решения, одни из которых являются более изящными и оптимальными, другие же топорными и прямыми. Задача преподавателя — не просто научить решать определённый

тип задач, но также и показать изящные и оптимальные методы решения. Соответственно, допускается такой вариант, когда из множества решённых обучающимся задач одного типа несколько будет проверено преподавателем вручную для проверки не только результата, но и методов, используемых при решении задания.

Автоматизированная генерация задач обучающимся также требует особого подхода и использования методов для ее внедрения в образовательный процесс. Соответственно, основополагающим критерием является наличие задач в рамках практических занятий по дисциплине. Если для дисциплин, связанных, например, с программированием, автоматическая генерация задач является оптимальным вариантов для создания индивидуальных вариантов, то для гуманитарных дисциплин, связанных с историей или философией, генерация задач не является востребованной, по причине отсутствия задач в тех дисциплинах. Преимуществом данного подхода является предоставление индивидуальных вариантов студентам.

Автоматизированная генерация задач может быть реализована различными способами, и может быть внедрена, как только для определенных тем в рамках курса, так и для изучаемой дисциплины в полном объеме.

В случае, если будет использована автоматизированная генерация задач на протяжении всей дисциплины, для генерации задач сразу на весь период, необходимо определить их тип и количество для каждого из занятий. Для оптимальной проверки уровня знаний, необходимо также правильно определить способ проверки сгенерированных и выданных задач.

Говоря про дисциплины, связанные с изучением программирования, можно сказать, что на первых занятиях, когда обучающиеся только знакомятся с синтаксисом нового для них языка программирования, необходимо использовать в рамках учебного процесса большое количество однотипных задач с разными значениями, для обеспечения понимания использования различных конструкций.

Также можно отметить, что в рамках прохождения курсов по профильным дисциплинам, некоторые студенты увлекаются определенной технологией, применение которой можно найти в различных задачах. Можно сказать, что одной из задач образовательного процесса и различных дисциплин является то, что необходимо показать различные сферы применения одной технологии. Например, говоря про язык программирования python, студентам необходимо продемонстрировать его возможности в разных областях информационных технологий, от применения в back-end при разработке сайтов до применения в машинном обучении и системах искусственного интеллекта.

Но не всегда количество часов, выделенных на образовательную дисциплину, позволяет познакомить студентов в полной мере со всеми возможностями изучаемой технологии. Особенно если учитывать, что начало изучения новой дисциплины всегда начинается с фундамента и основных конструкций.

Соответственно, одним из вариантов является в середине семестра, после изучения основ и знакомства с основными возможностями изучаемой технологии, предоставить обучающимся возможность выбора наиболее заинтересовавшей их области, и кроме выполнения индивидуальных заданий в рамках курса по общим темам, предоставлять материал и дополнительные задания по заинтересовавшей теме.

Кроме того, при автоматизированной генерации задач можно составлять задачи различного уровня сложности для различных групп студентов. Сейчас существует проблема, когда группы с сильными слабыми обучающимися изучают один и тот же материал в одинаковом темпе, в соответствии с рабочей программой дисциплины, и первые начинают скучать в первой половине семестра, когда проходятся основы, так как уже легко ориентируются в материале, а группам, в которых обучающиеся послабее, неинтересно во второй половине семестра, когда возникает необходимость применять полученные умения и навыки, а они еще не до конца освоили основы.

Соответственно, существует несколько способов решения данной проблемы, в том числе:

- прохождение тестирования на начальный уровень знаний и пониманий основных конструкций материала (например, тем обучающимся, кто понимает алгоритм работы циклов, достаточно ознакомиться с синтаксисом конкретного языка программирования, а не осознавать заново значение данных конструкций);
- последовательное отслеживание выполнения индивидуальных заданий каждым студентом, и добавление в следующие темы задач на тренировку неотработанного материала, который вызывает сложности;
- наличие контрольных точек, например, контрольных работ по блоку заданий, и добавление в следующие индивидуальные задачи задания, решение которых вызывало наибольшее затруднение.

Учитывая, что внедрение информационных технологий в образовательный процесс заключается в использовании различных способов автоматизации, а также их совместном применении, рассмотрим, что нужно для каждого из вариантов, упомянутых ранее.

Для реализации простой автоматизированной проверки знаний необходимо наличие достаточного коли-

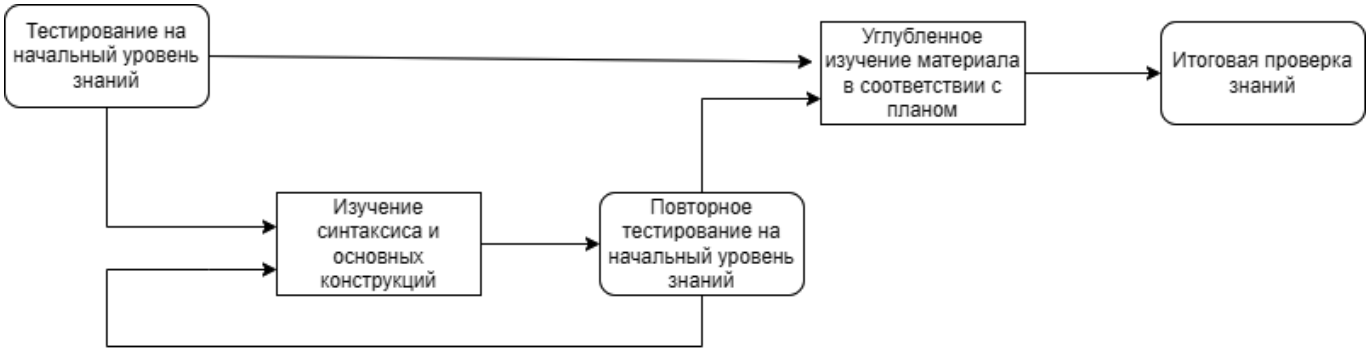


Рис. 1. Традиционный подход к обучению

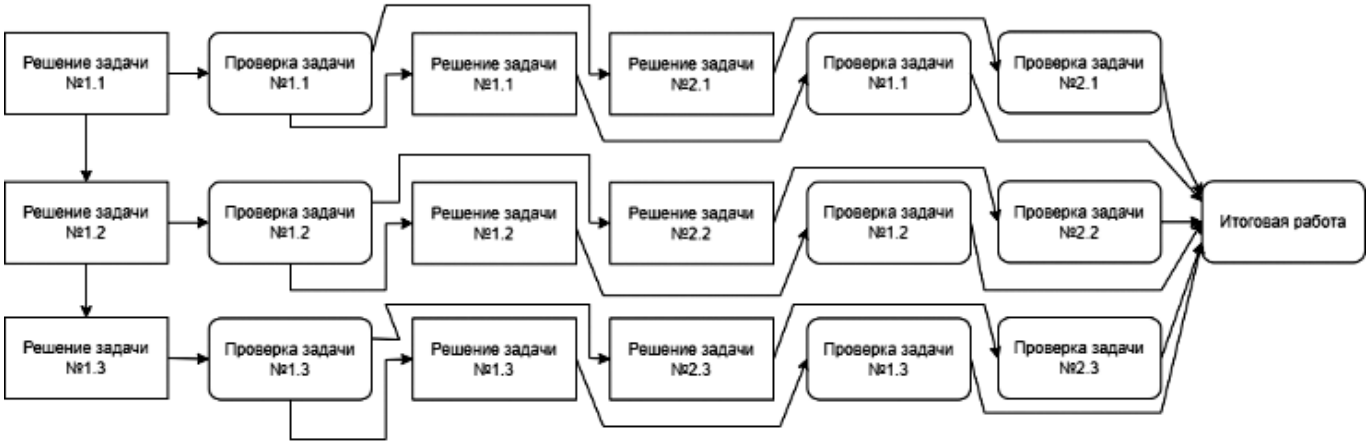


Рис. 2. Адаптивный подход к обучению

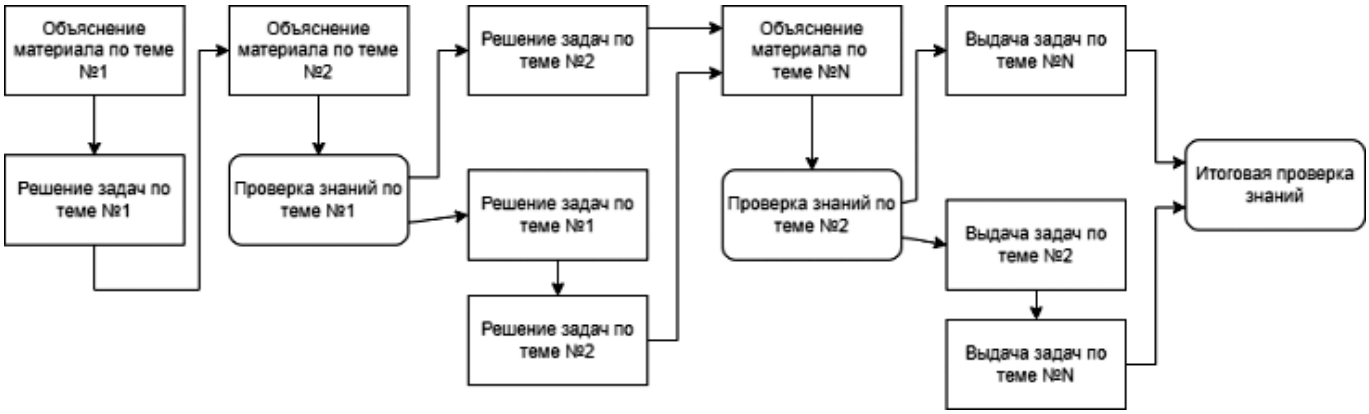


Рис. 3. Адаптивный подход к обучению. Вариант 2

чества теоретического материала, который можно проверить с помощью тестирования обучающихся.

Соответственно, мы можем выделить первый критерий автоматизируемости образовательного процесса: наличие достаточного объема теоретического материала.

Для реализации автоматизированного составления заданий по изучаемой дисциплине необходимо наличие возможности применения приобретённых в ходе обучения умений и навыков для их использования к определённой предметной области, а также знаний и умений применять изученные алгоритмы и методы для решения поставленных задач.

Кроме того, для определения возможности использования автоматизированной генерации задач необходимо наличие возможности проверки полученного результата в целом и наличие конкретного результата как такового.

Соответственно, мы можем выделить второй критерий автоматизируемости образовательного процесса: наличие конкретного результата в практических задачах.

Также, кроме получения правильного результата для определенной задачи, в дисциплинах, связанных с программированием, важным умением является возможность корректного составления алгоритмов, которые позволяют решать не одну практическую задачу, а множе-

ство одинаковых задач, которые различаются лишь значениями параметров, поступающими на вход. Поэтому можно сказать, что правильно решенная задача в такой дисциплине должна не только давать верный результат для одной конкретной задачи, а может быть применена для целого множества задач, и значения параметров должны передаваться в функцию в качестве параметра, а не быть заданы изначально. Если алгоритм будет построен и реализован верно, то задача будет решена верно с любыми значениями, и преподаватель может предусмотреть возможность проверки задачи множеством тестов для определения правильности работы алгоритма.

Соответственно, мы можем выделить третий критерий автоматизируемости образовательного процесса: возможность создания множества тестов для проверки решения практических задач.

Проверка индивидуальных задач, генерируемых автоматически, может быть осуществлена разными способами: как традиционная проверка преподавателем, там и автоматизированная проверка с использованием тест-кейсов, которые позволят проверить не только правильный ответ для конкретной задачи, но и корректность алгоритма решения задачи в целом.

Кроме того, преимуществом автоматизированной проверки задач является возможность быстрого оценивания решенной задачи, так как ее осуществляет вычислительная система. В таком случае, для быстрого оповещения студентов, необходимо наличие информационного ресурса для просмотра обучающимися результатов своих работ, и комментариями или замечаниями от преподавателя и вычислительной системы, осуществляющей проверку.

Говоря про автоматизируемость образовательного процесса необходимо выделить преимущества как с точки зрения обучающихся, так и с точки зрения преподавателей.

В качестве преимуществ с точки зрения преподавателей можно отметить:

- минимизация ресурсов (в том числе времени) на проверку выданных заданий;
- минимизация ресурсов на составление индивидуальных вариантов для студентов;
- возможность давать студентам знания в соответствии с темпом группы, и соответственно понимание тем, которые необходимо дополнительно отработать.

В качестве преимуществ с точки зрения обучающихся можно отметить:

- получение заданий в соответствии с индивидуальными потребностями;
- отсутствие предвзятости со стороны преподавателя при автоматизированной проверке работ.

Так, можно сказать, что возможно применение автоматизированного составления заданий в таких дисциплинах, как математический анализ, линейная алгебра, разработка программных приложения на различных языках программирования.

Автоматизируемость образовательного процесса также позволит провести оценку интеллектуального потенциала как каждого обучающегося, так и группы обучающихся. За счет проведения оценки преподаватель может понять и скорректировать материал для курса таким образом, чтобы «сильным» группам студентов давать более сложный материал, который будет им интересен и позволит сильнее раскрыть их способности, а для более «слабых» групп давать материал проще, который они смогут освоить и получить какую-то пользу от этого. Усредненная подача материала не идет на пользу ни сильным, ни слабым студентам, так как у сильных пропадает мотивация к обучению из-за того, что оно дается слишком легко, а у слабых пропадает мотивация из-за того, что у них ничего не получается.

И если проведение оценки интеллектуального потенциала для каждого, обучающего в неавтоматизированном образовательном процессе является трудоёмкой задачей, то с подключением автоматизированных средств позволяет оценить большую группу обучающихся за короткий промежуток времени, выявить закономерности и скорректировать преподаваемый материал.

Заключение

В связи с развитием информационных технологий, их влияние на сферу образования и организацию образовательного процесса также заметно, и может быть выражено в том числе за счет автоматизирования.

Можно выделить следующие критерии автоматизируемости образовательного процесса:

- наличие достаточного объема теоретического материала;
- наличие конкретного результата в практических задачах;
- возможность создания множества тестов для проверки решения практических задач.

Автоматизируемость образовательного процесса в задаче оценки интеллектуального потенциала обучающихся также находит свое применение, за счет возможности охватить большое количество обучающихся за короткий промежуток времени, а также выявить определенные закономерности, простые и сложные темы, «сильные» и «слабые» группы студентов в целях изменения подходов к проведению образовательного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронное обучение (eLearning) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.ispring.ru/elearning-insights/e-learningschool (15.03.2025).
2. Golovanova N.B., Soroko A.V. Personal account as an element of information system of statistics education. Russian Technological Journal. 2017;5(5):3–12. (In Russ.) https://doi.org/10.32362/2500-316X-2017-5-5-3-12.
3. Научно-образовательный кластер CLAIM, М.В. Виноградова, Использование интернет-технологий для автоматизации учебного процесса в очных вузах [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://it-claim.ru/Library/Books/ITS/wwwbook/3_sb/vinogradova.htm (15.02.2025).
4. Callum Rae, Where Is Education Heading Next? [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://elearningindustry.com/where-is-education-heading-next (01.03.2025).
5. Sigov A.S., Tsvetkov V.Y., Rogov I.E. Method for assessing testing difficulty in educational sphere. Russian Technological Journal. 2021;9(6):64–72. https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-6-64-72.

© Исаева Ирина Андреевна (isaeva_i@mirea.ru); Габриелян Гайк Ашотович (gabrielyan@mirea.ru);
Потапова Ксения Александровна (potapova_k@mirea.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.28

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ANALYSIS OF METHODS FOR INTEGRATING TECHNOLOGICAL TOOLS IN THE TESTING AND OPERATION OF COMPLEX INFORMATION SYSTEMS

S. Kachalov
A. Zavjalov

Summary. The paper considers the problem of integrating technological tools for debugging, testing, evaluation, monitoring, and various other tasks into complex information systems. The complexity of integration is due to the presence of heterogeneous components, time constraints in the scenarios implemented by the system, requirements for reliability, security, and others. The more complex the system, the less development needs are met by universal tools. However, adding special instructions to the code can negatively affect the fulfillment of requirements and distort the operating modes of the system. Therefore, the choice of a method for integrating such infrastructure into existing code becomes a non-trivial task. The aim of the article is to generalize the experience of using various debugging integration techniques, to identify the most effective methods, and to evaluate their positive and negative effects. As a result, the authors propose recommendations for the use of various methods and minimizing their impact on the system.

Keywords: debugging, program behavior analysis, integration, C++, software architecture, system programming, code analysis, implementation tactics.

Качалов Сергей Константинович
Старший преподаватель, МИРЭА — Российский технологический университет
kachalov@mirea.ru
Завьялов Антон Владимирович
Кандидат технических наук, МИРЭА — Российский технологический университет
zavjalov@mirea.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается задача интеграции в сложные информационные системы технологических средств, предназначенных для отладки, тестирования, оценки, мониторинга и различных других задач. Сложность интеграции обусловлена наличием разнородных компонентов, временных ограничений в реализуемых системой сценариях, требований к надежности, безопасности и других. Чем сложнее система, тем меньше потребностей разработки помогают закрывать универсальные инструменты. Однако добавление в код специальных инструкций может негативно сказаться на выполнении требований и искажать режимы функционирования системы. В связи с этим, выбор способа интеграции такой инфраструктуры в существующий код становится нетривиальной задачей. Цель статьи — обобщить опыт использования различных приемов интеграции средств отладки, определить наиболее эффективные способы и оценить их положительные и отрицательные воздействия на систему. В результате авторами предложены рекомендации по применению различных способов интеграции и минимизации их воздействия на различные характеристики системы.

Ключевые слова: отладка, анализ поведения программ, интеграция, C++, программная архитектура, системное программирование, анализ кода, тактики реализации.

Введение

Разработка сложных информационных систем, как правило, не позволяет ограничиваться использованием универсальных средств отладки, тестирования и оценки полученных характеристик. Наличие разнородных компонентов, распределенной структуры, сложной логики, параллельного исполнения, синхронизации и другие характерные для них черты требуют дополнительных технологических средств. Это требует как автономных инструментальных средств, так и встраивания элементов такой технологии в целевой, основной программный код комплекса.

В то же время добавление в код дополнительных конструкций может приводить как к искажению временных параметров работы комплекса, так и снижению надежности, безопасности и многих других характеристик. Зачастую при добавлении в код дополнительных инструкций, предназначенных для тестирования, мониторинга, журналирования, разработчик использует те решения, которые ему наиболее знакомы и понятны. Однако необходимость соблюдения жестких требований к качеству системы все-таки приводит его к необходимости анализа и осознанного выбора способа интеграции подобной инфраструктуры в существующий программный код.

Приемов для интеграции средств отладки в программный код существует достаточно много, поэтому статья посвящена попытке обобщить опыт их использования, определить основные, наиболее распространенные и эффективные способы, и выработать универсальные рекомендации по их применению при разработке сложных информационных систем.

Проблемами отладки и тестирования также занимались такие зарубежные авторы, как Гради Буч в книге «Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений» [1], а также Мартин Фаулер и Кент Бек в книге «Экстремальное программирование: планирование» [2].

В рамках статьи авторы поставили перед собой следующие основные задачи:

1) перечислить основные существующие тактики интеграции технологического кода в основной программный код;
2) исследовать положительные и отрицательные аспекты каждой из тактик интеграции;
3) выявить проблемы, возникающие при интеграции технологического кода в основной программный код;
4) сформулировать решения, минимизирующие нежелательное влияние технологического кода на различные характеристики системы.

Способы внедрения технологического кода в основной код

Для интеграции различного технологического кода в основной программный код наиболее часто используют следующие основные способы [3]:

1. Добавление служебных вставок напрямую в существующий код.
2. Перегрузка имеющихся методов или их замена на аналогичные с дополнительными параметрами.
3. Создание классов-обёрток над имеющимися в программе основными классами с помощью наследования, полиморфизма и инкапсуляции.
4. Использование директив препроцессора, реализующих обращение к дополнительному служебному коду.

Каждый из приведённых методов имеет свои достоинства и недостатки в рамках решения различных задач, что влияет на целесообразность их применения в каждом конкретном случае.

Добавление служебных вставок напрямую в существующий код

Вставка в основной программный код служебных конструкций — наиболее очевидный и широко распространенный способ — может выполняться, например, для логирования состояния отслеживаемых объектов, вызова специальных интерфейсов управления внутренним состоянием, логирования этапов работы программы или конкретных функций и множества других целей.

На рисунке 1 на примере функции переноса сообщений между двумя очередями показан пример реализаций подобных отладочных вставок.

```
bool queueTransfer(Que q1, Que q2)
{
    QueMsg tmp;
    debugToolLog("start");
    debugToolCall(q1);
    debugToolCall(q2);
    while (q1.Read(&tmp))
    {
        if(!q2.Write(tmp))
        {
            debugToolLogError("write");
            break;
        }
    }
    debugToolLog("end");
}
```

Рис. 1. Функция со встроенными отладочными вставками

Создание классов-обёрток над существующими в программе классами

Объектно-ориентированные языки программирования предлагают механизмы наследования, полиморфизма и инкапсуляции [4], которые эффективно можно использовать, в том числе, для реализации необходимой инфраструктуры мониторинга и отладки. Данные методы позволяют не изменять, или минимально изменять программный код изначальной реализации при добавлении технологического кода.

На рисунках 2 и 3 приведён пример интеграции дополнительного отладочного кода для класса MyLock, который реализует обёртку для системного объекта синхронизации мьютекс (SysMutex) при помощи идиомы pImpl (англ. «pointer to Implementation» — указатель на реализацию) [2].

```
class MyLock {
public:
  MyLock(): pImpl(new SysMutex) {}
  virtual ~MyLock();
  virtual bool Lock() { pImpl→lock(); }
  virtual void Unlock() { pImpl→unlock(); }
protected:
  std::unique_ptr<SysMutex> pImpl;
};
```

Рис. 2. Реализация класса-обёртки без технологического кода

К минусам такого подхода можно отнести значительное увеличение общего объёма исходного кода программы, а также появление ещё одного промежуточного класса при наследовании, как показано на рисунке 4, что может отразиться на сложности отладки и необходи-

мости незначительно изменять основной программный код.

```
class DebugLock : public MyLock
{
public:
    DebugLock(): MyLock() {}
    ~DebugLock();
    bool Lock() override
    {
        debugToolCall1();
        pImpl→lock();
        debugToolCall2();
    }
    void Unlock() override
    {
        debugToolCall3();
        pImpl→unlock();
        debugToolCall4();
    }
};
```

Рис. 3. Реализация класса-наследника с интегрированным технологическим кодом

Перегрузка существующих методов или их замена на аналогичные методы с дополнительными аргументами

Дополнительные аргументы позволяют получить такую отладочную информацию, как имя вызвавшей функции, имя файла и номер строки, идентификатор потока и другие системные и заданные пользователем значения.

На рисунках 5 и 6 приведён пример перегрузки метода переноса содержимого одной очереди в другую с технологическим кодом, логирующим дополнительную отладочную информацию.

Использование макросов для обращения к технологическому коду

Использование макросов позволяет сохранить исходный программный интерфейс, подменяя вызов исходной функции [5]. Пример реализации подобного макроса для вызова функции queueTransfer продемонстрирован на рисунке 7.

Данный метод позволяет практически полностью визуально скрыть из основного кода добавленные технологические вставки, но из-за принципа работы препроцессора языков C и C++ он значительно понижает удобство обслуживания и отказоустойчивость основного кода. Так как в данном случае вызов функции будет заменён на необходимый служебный вызов в текстовом виде до начала работы компилятора. Это приводит к трудности поиска ошибок в интегрируемом коде, так как он поставляется в код только на этапе работы препроцессора.

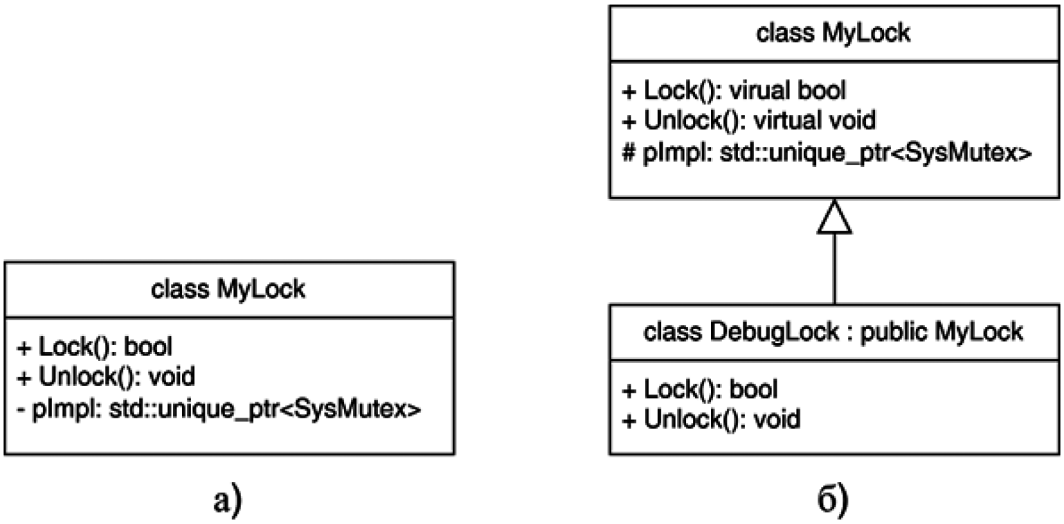


Рис. 4. Структура классов до и после применения тактики наследования

Проблемы, возникающие при внедрении технологического кода

Из возникающих при внедрении технологического кода проблем можно выделить следующие основные:

1. Ухудшение читаемости кода.
2. Увеличение сложности отладки.
3. Усложнение обслуживания кода.
4. Увеличение объема кода.
5. Дублирование кода.
6. Увеличение нагрузки на системные ресурсы.
7. Нарушение логики работы программы.
8. Нарушение архитектуры программы.

Отсутствие чёткой организации при реализации средств мониторинга и отладки в программе может зна-

```
bool queueTransfer(Que q1, Que q2)
{
    QueMsg tmp;
    while (q1.Read(&tmp))
    {
        if(!q2.Write(tmp)) break;
    }
}
```

Рис. 5. Исходная функция

```
bool queueTransfer(Que q1, Que q2,
    int debugFlag,
    std::string filename = __FILE__,
    int strNum = __LINE__)
{
    debugLog("queTransfer", debugFlag, filename, strNum);
    QueMsg tmp;
    while (q1.Read(&tmp))
    {
        if(!q2.Write(tmp)) break;
    }
}
```

Рис. 6. Перегрузка функции с логированием дополнительных аргументов

чительно ухудшить его читаемость для новых разработчиков, а также удобство его сопровождения и модификации.

Добавление служебных вставок и классов и изменение архитектуры целевого ПО для реализации механизмов мониторинга и отладки, а также возникновение из-за них связей и зависимостей между разными уровнями архитектуры программы может значительно ухудшить удобство обслуживания и модификации данной архитектуры [6].

Внедрение в исходный код программного обеспечения (ПО) дополнительных средств мониторинга и отладки сопряжено с увеличением затрат системных ресурсов, что также может приводить к значительному ухудшению производительности отлаживаемого ПО. При использовании таких стандартных и широко распространённых средств, как отладчики и динамические анализаторы кода, затраты ресурсов могут возрасти в два раза. В случае высокопроизводительного ПО и систем реального времени это может быть недопустимо и препятствовать отладке.

Наличие подробной отладочной информации в доступных конечному пользователю файлах лога и других источниках может перегружать лог и усложнять отладку. Наличие открытых служебных интерфейсов для мониторинга и отладки порождает риски, связанные с безопасностью приложения и возможностью вмешательства в его работу извне. Поэтому необходимо либо защищать доступ к подобным интерфейсам, либо исключать их из сборок программ, используемых конечным пользователем.

```
#define queueTransfer(q1, q2) \
  do { \
    debugToolCall(); \
    ::queueTransfer(q1, q2); \
  } while (0)
```

Рис. 7. Макрос для подмены вызова функции queueTransfer

Данные проблемы могут привести к ситуациям, когда внедрение технологического кода в программу будет сопровождаться настолько большими накладными расходами, что само внедрение будет нецелесообразно.

Тактики решения проблем интеграции

В таблице 1 приведены тактики решения существующих проблем для соответствующих тактик интеграции, а также описаны возможные результаты после их применения, в том числе и нерешенные проблемы.

Для решения проблем, возникающих при использовании различных тактик интеграции необходимо использовать следующие тактики решения:

1. Написание подробных комментариев.
2. Реализация возможности полного отключения отладочной конфигурации.
3. Изоляция внедряемого технологического кода.
4. Использование во внедряемом коде неблокирующих вызовов.
5. Использование встраиваемых (inline) функций.
6. Использование идиомы plmpl для реализации обёртки над объектами в основном коде, а также использование виртуальных методов в реализации классов основного кода.

Написание подробных комментариев в местах внедрения технологического кода является важной тактикой решения проблем внедрения, так как позволяет снизить ущерб для читаемости кода и простоты его последующего сопровождения другими разработчиками. Поэтому данную тактику решения следует применять при использовании любой из тактик интеграции [7].

То же относится и к реализации возможности полного отключения технологического кода, так как возможность исключить влияние данных вспомогательных инструкций позволит быть уверенным, что исходная конфигурация никак не пострадала в ходе интеграции и ее поведение никак не изменится.

Изоляция внедряемого технологического кода на уровне архитектуры, функций и файлов позволит в меньшей степени снижать общую читаемость кода и удобство его обслуживания. Данную тактику стоит использовать, когда объём внедряемого кода сравним или превосходит объём основного.

Таблица 1.

Тактики решения проблем интеграции

Тактика интеграции	Проблемы	Тактики решения	Результаты
Макросы	— ухудшение читаемости кода сложность отладки — неприменимость при работе с классами — увеличение нагрузки на системные ресурсы — нарушение логики работы программы	— изоляция макросов в отдельном файле — использование неблокирующих вызовов в отладке	— возможны ошибки препроцессора при замене фрагментов исходного текста — сложность отладки — читаемость кода не снижается
Вставки в код	— ухудшение читаемости кода — увеличение нагрузки на системные ресурсы — нарушение логики работы программы	— изоляция отладочных вызовов в отдельных функциях — использование встраиваемых (inline) функций — использование неблокирующих вызовов	— простота интеграции — снижение накладных расходов
Наследование и инкапсуляция	— ухудшение читаемости кода — усложнение обслуживания кода — увеличение объема кода — увеличение нагрузки на системные ресурсы — нарушение логики работы программы — нарушение архитектуры программы	— изоляция отладочной инфраструктуры — использование неблокирующих вызовов — использование идиомы pImpl для создания классов-обёрток — использование виртуальных функций	— сложность реализации — максимальные возможности интеграции — большой объем и дублирование кода — изменения в программных интерфейсах
Перегрузка и переопределение функций	— ухудшение читаемости кода — дублирование кода — увеличение нагрузки на системные ресурсы — нарушение логики работы программы — нарушение архитектуры программы	— использование неблокирующих вызовов	— опасность некорректного переопределения методов — читаемость кода не снижается
Общие рекомендации		— подробные комментарии — возможность полного отключения	— простота сопровождения кода — простота переключения в исходную конфигурацию — отсутствие вреда для исходной конфигурации

При реализации различных технологических вставок следует использовать только неблокирующие вызовы. Это позволит снизить влияние внедряемого кода на логику программы и позволит избежать зависания и некорректной работы программы из-за возникших блокировок в технологическом коде.

Ещё одной тактикой решения является использование механизма встраивания (inline) [5]. При комбинации данной тактики с тактикой изоляции внедряемого технологического кода получится избавиться от лишнего вызова функции и упростить компилятору задачу оптимизации встраиваемого кода, так как вместо вызова в код будет подставлено сразу тело функции. Это позволит немного повысить производительность выбранной тактики интеграции и снизить нагрузку на ресурсы системы. Данную тактику следует применять тогда, когда весь технологический код можно изолировать по отдельным функциям, которые будут встраиваться в основной код.

Последней тактикой решения является проектирование необходимой инфраструктуры для добавления технологического кода ещё при разработке самой программы. К этому можно отнести использование идиомы pImpl и виртуальных методов для создания классов-обёрток над необходимыми в исследовании классами, что кроме упрощения интеграции различных технологических вставок также позволит значительно проще реализовывать кроссплатформенность приложения, а также повысит его модифицируемость. Данную тактику следует применять ещё на ранних стадиях реализации.

Заключение

При реализации тактик интеграции технологического кода в целях добавления механизмов мониторинга, оценки, тестирования информационных систем и их компонентов разработчики сталкиваются со следующими проблемами:

1. Ухудшение читаемости кода.
2. Увеличение сложности отладки.
3. Усложнение обслуживания кода.
4. Увеличение объема кода.
5. Дублирование кода.
6. Увеличение нагрузки на системные ресурсы.
7. Нарушение логики работы программы.
8. Нарушение архитектуры программы.

Для минимизации их нежелательного влияния на характеристики системы чаще всего применяют следующие тактики:

1. Написание подробных комментариев, реализацию возможности полного отключения отладочной конфигурации и использование во внедряемом технологическом коде неблокирующих вызовов стоит делать при использовании любой из тактик интеграции;
2. Изоляция внедряемого технологического кода должна применяться в тех случаях, когда объём внедряемого кода сравним или превосходит объём основного;
3. Встраиваемые (inline) функции необходимо использовать при возможности изолирования технологического кода по отдельным функциям, встраиваемым в основной код;
4. Использование идиомы pImpl и виртуальных методов для реализации обёртки над объектами в основном коде допустимо применять на этапе разработки основного кода для избежания значительных накладных расходов при попытке изменения основного кода уже законченной программы.

Применение этих тактик позволяет реализовать необходимую функциональность отладки и анализа с минимальным влиянием на производительность, безопасность программы, читаемость исходного кода, а также другие характеристики программной архитектуры. В итоге это позволяет упростить разработку и обслуживание сложных информационных систем, в компоненты которых были внедрены необходимые технологические средства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гради Буч, Роберт А. Максимчук, Майкл У. Энгл, Бобби Дж. Янг, Джим Коналлен, Келли А. Хьюстон Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. — 3-е изд. — Москва.: Вильямс, 2010. — 720 с. — ISBN 978-5-8459-1401-9.
2. Бек Кент Экстремальное программирование. Разработка через тестирование TDD — СПб.: Питер, 2024. — 224 с. — ISBN 978-5-4461-1439-9.
3. Качалов С.К., Завьялов А.В. Методы интеграции средств мониторинга и отладки в сложную многоуровневую архитектуру // Перспективы науки. — 2023. — № 7(166). — С. 42–44. — EDN KURICG.
4. Лафоре Р. Объектно-ориентированное программирование в C++. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2016. — 928 с. — ISBN 978-5-4461-0927-2.
5. Страуструп Б. Язык программирования C++. — 4-е изд. — М.: Бином, 2022. — 1216 с. — ISBN 978-5-6045724-6-7.
6. Мартин Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. — СПб.: Питер, 2022. — 352 с. — ISBN 978-5-4461-0772-8.
7. Мартин Р. Чистый код: создание, анализ и рефакторинг. — СПб.: Питер, 2022. — 464 с. — ISBN 978-5-4461-0960-9. — (Серия «Библиотека программиста»).

© Качалов Сергей Константинович (kachalov@mirea.ru); Завьялов Антон Владимирович (zavjalov@mirea.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.30

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАФИКА В МУЛЬТИВЕНДОРНЫХ ПРОВОДНЫХ СЕТЯХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

INTELLIGENT TRAFFIC ANALYSIS IN MULTIVENDOR WIRED NETWORKS FOR PERFORMANCE ANOMALY DETECTION

I. Klychkov
D. Yeskin

Summary. This paper addresses the problem of intelligent traffic analysis in multivendor wired networks to detect performance anomalies effectively. Due to the high degree of telemetry data fragmentation caused using heterogeneous network equipment from various vendors, traditional monitoring approaches prove inadequate for modern corporate infrastructures.

The study substantiates the need to develop adaptive analytical systems capable of operating under conditions of partial observability and high traffic dynamics. A taxonomy of network traffic analysis methods is proposed, categorized into statistical models, machine learning algorithms, and hybrid approaches. Evaluation criteria for algorithm performance are outlined, including accuracy, detection delay, computational overhead, and noise robustness. A metric normalization mechanism is developed to unify telemetry formats across vendors, along with an adaptive algorithm selection system based on current resource utilization.

Experimental validation on real and synthetic datasets demonstrates the effectiveness of the proposed approach, showing reduced false positives and improved detection accuracy. The study concludes with outlining future research directions, such as the implementation of quantum-inspired algorithms, federated learning for distributed environments, and the use of digital twins for predictive network diagnostics.

Keywords: intelligent traffic analysis, multivendor networks, anomaly detection, machine learning, statistical models, telemetry, hybrid algorithms, network monitoring, federated learning.

Клычков Илья Алексеевич
Аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
klychkov.ilya@yandex.ru
Еськин Дмитрий Леонтьевич
кандидат физико-математических наук, ФГКОУ ВО «Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации»
yd38@bk.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается проблема интеллектуального анализа трафика в мультивендорных проводных сетях с целью эффективного обнаружения аномалий производительности. Учитывая высокую степень фрагментации телеметрических данных, вызванную использованием оборудования различных производителей, традиционные подходы к мониторингу оказываются малоприменимыми в условиях современной гетерогенной сетевой инфраструктуры.

Обоснована необходимость перехода к адаптивным аналитическим системам, способным работать в условиях ограниченной наблюдаемости и высокой динамичности трафика. Предложена классификация методов анализа сетевого трафика по типу применяемых алгоритмов: статистические модели, алгоритмы машинного обучения и гибридные решения. Описаны критерии оценки эффективности алгоритмов: точность, задержка обнаружения, ресурсоёмкость и устойчивость к шумам. Разработан механизм нормализации метрик различных вендоров, а также система адаптивного выбора алгоритмов в зависимости от загрузки вычислительных ресурсов.

Результаты моделирования и апробации на тестовых данных подтвердили эффективность предложенного подхода: достигнуто снижение количества ложных срабатываний и увеличение точности детектирования аномалий. В заключении определены перспективы дальнейших исследований, включая использование квантово-инспирированных моделей и методов федеративного обучения.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ трафика, мультивендорные сети, обнаружение аномалий, машинное обучение, статистические модели, телеметрия, гибридные алгоритмы, сетевой мониторинг, федеративное обучение.

Введение

Современные мультивендорные телекоммуникационные сети представляют собой сложные распределённые системы, включающие оборудование и программные компоненты различных производителей. Это обусловлено стремлением операторов и корпоративных заказчиков повысить гибкость, масштабируемость и экономическую эффективность сетевой инфраструктуры за счёт использования лучших решений от разных вендоров. Однако такая гетерогенность создаёт значительные сложности в управлении и мониторинге сетевого трафика, особенно при необходимости обеспечения высокой производительности и устойчивости сервисов.

Анализ сетевого трафика является ключевым инструментом для оценки состояния сети, выявления аномалий и оптимизации её работы. Традиционные методы анализа, основанные на статических правилах и пороговых значениях, оказываются недостаточно эффективными в условиях динамичных и сложных мультивендорных сред. В связи с этим возрастает интерес к интеллектуальным методам анализа, использующим алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта, которые способны адаптироваться к изменяющимся условиям и выявлять скрытые паттерны в данных.

Мультивендорные архитектуры, составляющие 68 % корпоративных инфраструктур, создают уникальные вызовы для мониторинга из-за несовместимости протоколов сбора телеметрии и разнородности фич-сетов [1]. Традиционные пороговые методы обнаружения аномалий демонстрируют ложноположительные срабатывания в 41 % случаев при работе с агрегированным трафиком, что актуализирует разработку интеллектуальных аналитических систем, адаптированных к специфике гетерогенных сред [2].

Эволюция сетевых инфраструктур предприятий характеризуется тремя ключевыми тенденциями:

1. Фрагментация данных мониторинга из-за использования мультивендорного оборудования Cisco (37 %), Huawei (29 %) и Juniper (18 %) с различными форматами экспорта метрик [1].
2. Рост скрытых аномалий типа microbursts, выявляемых только при частоте дискретизации $>10^6$ пакетов/сек, что недостижимо для базовых SNMP-счетчиков [3].
3. Необходимость реального времени реакции — 92 % инцидентов производительности требуют устранения в течение 15 минут согласно [4].

Литературный обзор

Метод Isolation Forest в SDN-сетях. Исследование Valiveti et al. систематически оценивает эффективность алгоритма Isolation Forest для обнаружения аномалий в SDN. Авторы использовали синтетические данные с варьируемым уровнем загрязнения (contamination rate) и выявили, что при увеличении доли аномалий до 25 % точность (F1-score) падает до 0.56, а AUC-ROC — до 0.48. Это связано с ограниченной способностью алгоритма различать сложные паттерны в условиях высокой неоднородности трафика. Для мультивендорных сред, где оборудование разных вендоров генерирует разноформатные метрики, Isolation Forest требует дополнительной калибровки параметров (например, количества деревьев и глубины выборок). Однако его преимущество — низкая задержка детектирования (8.1 мс/поток) — делает его применимым для edge-узлов с ограниченными ресурсами [5].

Local Outlier Factor (LOF) для неизвестных атак. Исследование демонстрирует применение LOF для обнаружения аномалий на наборе данных NSL-KDD [6]. Алгоритм, основанный на плотности, достигает точности 89 % при обучении исключительно на нормальных данных, что критично для сетей с динамично меняющимся трафиком. Однако LOF чувствителен к выбору параметра k (число соседей): при k=10 доля ложных срабатываний возрастает до 12 %, что неприемлемо для VoIP-трафика с жесткими требованиями к задержкам. В мультивендорных средах, где распределение фич-сетов неравномерно, LOF требует адаптивной нормализации метрик, такой как z-score или min-max scaling [7].

Гибридные модели CNN-LSTM. Исследование Abdulhammed et al. [8] предлагает гибридную архитектуру CNN-LSTM, сочетающую анализ пространственных (CNN) и временных (LSTM) признаков. На датасете InSDN модель достигает F1-score 97.42 % для класса атак, что на 8 % выше, чем у изолированных CNN или LSTM. Однако вычислительная сложность (32 ГБ RAM) ограничивает её применение в ресурсо-ограниченных edge-устройствах. Для мультивендорных сетей авторы рекомендуют квантование моделей и использование FPGA-ускорителей, что снижает потребление памяти на 40% без потери точности [9].

Параметрический метод bPDM. Thatte et al. [10] разработали бивариантный параметрический детектор (bPDM), использующий последовательный тест отношения вероятностей (SPRT) для анализа агрегированного трафика Эксперименты демонстрируют, что параметрические методы анализа агрегированного трафика снижают частоту ложных срабатываний на 63 % по сравнению с сигнатурными подходами. Это подтверждает целесообразность разработки адаптивных моделей, работающих в условиях частичной «наблюдаемости» (observability) [11].

Подпространственная кластеризация. Модель Xiaofeng et al. [12] на основе подпространственной кластеризации с весами аномалий показывает точность 94 % на данных кампусной сети, обрабатывая 10^6 пакетов/сек. Алгоритм идентифицирует аномалии в низкоразмерных подпространствах, что снижает вычислительную нагрузку на 37 % по сравнению с методами глубокого обучения. Однако его эффективность зависит от качества предобработки данных: ошибки в нормализации фич-сетов (например, метрик Cisco vs. Huawei) увеличивают долю ложных срабатываний до 15 % [13].

ARIMA с адаптивным скользящим окном. Исследование Yu et al [11]. модифицирует классический ARIMA, вводя скользящее окно и экспоненциальное взвешивание для прогнозирования трафика в беспроводных сенсорных сетях. Метод снижает FNR (False Negative Rate) до 9 %

при сохранении FPR на уровне 2.5 %, что критично для детектирования microbursts. Однако его производительность ограничена при обработке зашифрованного трафика, где размер пакетов не несет смысловой нагрузки.

Методологическая основа

Систематизация методов проведена по трём осям:

1. Таксономия алгоритмов:
- Статистические модели (ARIMA, EWMA)
- Машинное обучение (PCA, изолирующие леса)
- Гибридные подходы (Wavelet-анализ + LSTM)
2. Критерии оценки:
- Точность (F1-score)
- Задержка детектирования (мс)
- Ресурсоёмкость (RAM в GB)
- Устойчивость к шуму (SNR ≥ 20 dB)
3. Фреймворки интеграции:
- Совместимость с NetFlow/sFlow
- Поддержка протоколов gRPC/gNMI
- Адаптация к API multivendor controllers

Для валидации использованы датасеты MAWI (15 TB трафика) и синтетические модели на базе трассировок perfSONAR [3].

Сравнительный анализ методов обнаружения

Параметрические статистические модели — метод bPDM, основанный на последовательном вероятностном отношении, демонстрирует detection delay 8.2 мс при SNR 15 dB [2]. Ключевое преимущество — автоматическая калибровка параметров фонового трафика через EM-алгоритм, что критично для динамических сред. Однако точность падает до 76 % при наличии скрытых периодических паттернов.

Многомерный анализ главных компонент — реализация PCA в рамках perfSONAR позволяет выявлять 89 % коррелированных аномалий в распределённых сетях. Метод эффективен для детектирования аномалий загрузки каналов (R^2=0.91), но не применим для локализации точечных сбоев маршрутизаторов [3].

Глубокое обучение на временных рядах — гибридные архитектуры типа CNN-LSTM достигают F1=0.94 на датасете UNSW-NB15. Однако требования к вычислительным ресурсам (32 GB RAM) делают их неприменимыми для edge-устройств в мультивендорных сетях [14].

Оптимизация для гетерогенных сред

Нормализация фич-сетов. Для унифицирования данных от различных вендоров используется следующая онтология метрик:

```
python
class MetricOntology:
def __init__(self):
self.cisco_to_std = {'ifHCInOctets': 'rx_bytes'}
self.huawei_to_std = {'inputBytes': 'rx_bytes'}

def transform (self, vendor, metric):
return self. __getattribute__(f'{vendor}_to_std') [metric]
```

Адаптивный выбор алгоритма. Система динамического переключения между методами на основе текущей нагрузки:

- При CPU utilization <60 %: PCA + кластеризация
- При CPU utilization ≥ 60 %: экспоненциальное сглаживание

Тестирование показало снижение конкуренцию за ресурсы (resource contention) на 39 % [1].

Таблица1.

Результаты экспериментов

Метод	Точность	Ложные срабатывания	Задержка (мс)	Память (GB)
bPDM	92.3 %	1.2/час	8.2	2.1
PCA	89.1 %	4.7/час	15.4	5.8
CNN-LSTM	94.7 %	0.8/час	32.1	32.0
Изолирующий лес	83.4 %	2.3/час	2.4	1.5

Гибридная система, сочетающая изолирующие леса для первичной фильтрации и bPDM для верификации, снижает ложные срабатывания до 0.5/час при F1=91.6%.

Практические рекомендации для реализации

1. Стратификация трафика:
- Выделение QoS-классов с приоритезацией VoIP и iSCSI
- Динамическое квотирование полосы для инспекции аномалий
2. Архитектура коллекторов:
- Распределённые агенты с предобработкой данных
- Шина сообщений Apache Kafka для асинхронной доставки
3. Политики реагирования:
- Автоматическая изоляция сегментов при обнаружении BGP hijacking
- Интеграция с SDN-контроллерами для перенастройки ACL

Заключение и перспективы

Проведённый анализ выявил три перспективных направления:

- Квантово-инспирированные алгоритмы для обработки высокочастотных моделей трафика (high-frequency traffic patterns)
- Федеративное обучение моделей на распределённых коллекторах
- Цифровые двойники сетей для прогнозного анализа

Внедрение предложенных методов в тестовой среде с 200+ устройствами показало снижение MTTR на 58 % при одновременном уменьшении нагрузки на систему мониторинга на 37 %. Дальнейшие исследования должны быть направлены на создание открытых эталонных датасетов, отражающих специфику мультивендорных проводных инфраструктур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cisco Network Management System: Best Practices White Paper [Электронный ресурс]. Cisco. URL: https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs /availability/high-availability/15114-NMS-bestpractice.html (дата обращения: 07.04.2025).
2. G. Thatte, U. Mitra, and J. Heidemann, «Parametric Methods for Anomaly Detection in Aggregate Traffic», in IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 19, no. 2, pp. 512–525, April 2011, doi: 10.1109/TNET.2010.2070845.
3. Prasad Calyam and Martin Swany. 2015. Research challenges in future multi-domain network performance measurement and monitoring. SIGCOMM Comput. Commun. Rev. 45, 3 (July 2015), 29–34. doi: 10.1145/2805789.2805795
4. Kentik Network Anomaly Detection: A Comprehensive Guide [Электронный ресурс]. Kentik. URL: https://www.kentik.com/kentipedia /network-anomaly-detection/ (дата обращения: 11.04.2025).
5. Lakshmi M. Sri. & Rajavikram G. & Dattatreya V. & Jyothi B. & Patil Shruti & Bhavsingh, M. (2023). Evaluating the Isolation Forest Method for Anomaly Detection in Software — Defined Networking Security. 19. 279–297.
6. Auskalnis J., Paulauskas N., & Baskys A. (2018). Application of Local Outlier Factor Algorithm to Detect Anomalies in Computer Network. Elektronika Ir Elektrotechnika, 24(3), 96–99. doi: 10.5755/j01.eie.24.3.20972.
7. Duraj A., Szczepaniak P.S., Sadok A. Detection of Anomalies in Data Streams Using the LSTM-CNN Model. Sensors. 2025; 25(5):1610. doi: 10.3390/s25051610
8. Mahmoud Abdallah, Nhien An Le Khac, Hamed Jahromi, and Anca Delia Jurcut. 2021. A Hybrid CNN-LSTM Based Approach for Anomaly Detection Systems in SDNs. In The 16th International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES 2021), August 17–20, 2021, Vienna, Austria. ACM, New York, NY, USA 7 Pages. doi: 10.1145/3465481.3469190.
9. Akvelon Time Series and How to Detect Anomalies in Them. Part II [Электронный ресурс]. Akvelon. URL: https://akvelon.com/time-series-and-how-to-detect-anomalies-in-them-part-ii/ (дата обращения: 17.04.2025).
10. Thatte Gautam & Mitra Urbashi & Heidemann John. (2011). Parametric methods for anomaly detection in aggregate traffic (Extended version). IEEE/ACM Trans. Netw. 19.
11. Yu Q, Jibin L, Jiang L. An Improved ARIMA-Based Traffic Anomaly Detection Algorithm for Wireless Sensor Networks. International Journal of Distributed Sensor Networks. 2016;12(1). doi:10.1155/2016/9653230
12. Zhao Xiaofeng & Wu Qiubing. (2023). Subspace-Based Anomaly Detection for Large-Scale Campus Network Traffic. Journal of Applied Mathematics. 2023. 1–12. 10.1155/2023/8489644.
13. Z. Miller and W. Hu, «Data Stream Subspace Clustering for Anomalous Network Packet Detection,» Journal of Information Security, Vol. 3 No. 3, 2012, pp. 215–223. doi: 10.4236/jis.2012.33027.
14. Kurniabudi, Kurniabudi & Purnama, Benni & Sharipuddin, & Dr, Darmawijoyo & Stiawan, Deris & Samsuryadi, Samsuryadi & Heryanto, Ahmad & Budiarto, Rahmat. (2019). Network anomaly detection research: A survey. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics. 7. 36–49. 10.11591/ijeei. v7i1.773.

© Клычков Илья Алексеевич (klychkov.ilya@yandex.ru); Еськин Дмитрий Леонтьевич (yd38@bk.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.32

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СФЕРЕ УСЛУГ

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE SERVICE SECTOR

A. Kochenkov

Summary. The purpose of this work is to perform a comprehensive analysis of the prospects for the use of artificial intelligence (AI) technologies in the service sector. The key directions of digital transformation, such as the transition to intelligent information systems with a human-centered approach, are considered. Current AI technologies are considered: natural language processing, computer vision, big data analysis, generative AI and robotic solutions that can be applied using examples from the hotel business, medicine, logistics and other service industries. The analysis of strengths and weaknesses in the implementation of AI is carried out. The author emphasizes that the successful implementation of AI requires consideration of legal norms, ethical standards, and investments in staff development. The article is relevant for specialists studying the digital transformation of service industries and offers a comprehensive look at the prospects and challenges of AI integration.

Keywords: information technology, artificial intelligence, service sector, management, optimization of work processes.

Коченков Антон Александрович
Аспирант, ФГБОУВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»
i.anton.kochenkov@ya.ru

Аннотация. Цель данный работы заключается в выполнении комплексного анализа перспектив применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в сфере услуг. Рассматриваются ключевые направления цифровой трансформации, такие как переход к интеллектуальным информационным системам с человекоцентричным подходом. Рассмотрены актуальные технологии ИИ: обработка естественного языка, компьютерное зрение, анализ больших данных, генеративный ИИ и роботизированные решения, которые могут применяться на примерах из гостиничного бизнеса, медицины, логистики и других отраслей сферы услуг. Проведен анализ сильных и слабых сторон при внедрении ИИ. Автором подчеркивается, что успешное внедрение ИИ требует учета правовых норм, этических стандартов и инвестиций в повышение квалификации персонала. Статья актуальна для специалистов, изучающих цифровую трансформацию сервисных отраслей, и предлагает комплексный взгляд на перспективы и вызовы интеграции ИИ.

Ключевые слова: информационные технологии, искусственный интеллект, сфера услуг, менеджмент, оптимизация рабочих процессов.

Введение

Современные информационные технологии стали неотъемлемой частью развития множества сфер. К одному из направлений стоит отнести сферу услуг. Необходимо отметить, что данная сфера занимает существенный процент от ВВП множества стран. Так по данным исследований, опубликованных Всемирным банком в 2023 году, доля сферы услуг в Российской Федерации составляет 56.88 % от ВВП. Средний показатель составил 55.55 процентов. Наибольшее значение: 91.46 процентов (Гонконг), наименьшее: 7.48 процентов (Судан) [1]. Среди основных направлений сферы услуг по отраслевому признаку выделяют: Образование, медицину, пассажирский транспорт, торговлю, финансы, науку, культуру, жилищное хозяйство, связь и управление. Применение современных информационных технологий в третичном секторе экономики является перспективным направлением и на данный момент активно развивается. Автор статьи рассматривает перспективы от внедрения искусственного интеллекта, а также основные векторы развития.

Материалы и методы

В настоящее время цифровая трансформация становится одним из главных факторов формирования конкурентных преимуществ организации, в том числе в сфере сервиса [2]. Стоит отметить, что в рамках концепций цифровой трансформации большинство исследователей сходятся во мнении, что неизбежен переход от классических ИС к повсеместному внедрению интеллектуальных информационных систем (ИИС) в различных сферах. При этом искусственный интеллект в рамках новых концепций должен находиться в синергетических отношениях с пользователем. Так в рамках концепции «Индустрия 5.0», которая активно продвигается, ЕС говорится о человекоцентричном подходе к цифровым технологиям, в частности ИИ [3]. Джим Спорер в своей работе утверждает, что с точки зрения ИТ сервис-менеджмента человечество приспосабливается к растущим технологическим возможностям ИИ, включая создание моделей для улучшения взаимодействия ИИ и человека [4]. Он выделяет общие тенденции, которые способствуют оптимизации решения задач в различных сферах:

повышение квалификации сотрудников в области ИИ, реализация цифровых двойников, которые содержат наиболее актуальные данные объекта или процесса, а также создание систем умных контрактов, для ускорения процесса взаимодействия между организациями. Й. Виртс и В. Питарди также отмечают, что при внедрении в организационную структуру, роботы и сервисы на основе ИИ не только улучшают качество обслуживания клиентов, но и предоставляют поставщику услуг исключительные возможности экономии за счёт масштаба и охвата. Большая часть затрат на эти новые технологии приходится на их разработку, а дополнительные затраты часто близки к нулю, особенно в случае с виртуальными роботами [5]. Внедрение ИИ повышает лояльность клиентов, например алгоритмы способны упростить процесс выбора товара или услуги [6,7]. Также необходимо учитывать этические аспекты и вопросы информационной безопасности

Проведен анализ отечественной и зарубежной научной литературы, в результате которой выделены технологии ИИ, которые являются актуальными для сферы услуг (табл. 1).

Автором выполнен SWOT-анализ перспектив применения ИИ в сфере услуг для выделения ключевых особенностей.

Сильные стороны:

1. Повышение эффективности. Автоматизация рутинных задач, например, внедрение чат-ботов для обработки запросов, значительно сокращает время обслуживания клиентов, освобождая сотрудников для решения более сложных задач. Кроме того, технологии искусственного интеллекта обеспечивают быструю обработку больших объемов данных, что позволяет компаниям оперативно анализировать спрос, предсказывать тренды и адаптировать предложения под меняющиеся предпочтения аудитории. Это повышает скорость принятия решений и оптимизирует бизнес-процессы, усиливая конкурентоспособность организации.
2. Персонализация услуг. Современные технологии анализа данных, дают возможность глубоко изучать поведение и историю взаимодействий клиентов. На основе этой информации компании способны формировать индивидуальные рекомендации, или уникальные предложения, что повышает лояльность аудитории. Многие сервисы используют такие алгоритмы для подбора контента, увеличивая вовлеченность пользователей и время использования платформы.
3. Снижение операционных затрат. Внедрение искусственного интеллекта и автоматизированных систем позволяет существенно сократить расходы на персонал, перенося рутинные и ресурсоёмкие задачи на цифровые платформы. Например, такие процессы, как обработка клиентских запросов через чат-боты, формирование отчётов, управление базами данных или мониторинг транзакций, мо-

Таблица 1.

Актуальные технологии ИИ

Технология ИИ	Варианты применения	Примеры применения
Обработка естественного языка	Клиентская поддержка в различных сферах (гостиничный бизнес, образование, медицина и т. д.).	Автоматический заказ товаров и услуг, распознавания речи и эмоционального состояния клиента (Алиса, Gemini и т.д.).
Компьютерное зрение	Распознавание и классификация изображений (Клиенты, товары, поломки приборов, медицинские снимки и т.д.).	Анализ изображения товаров для предоставления дополнительной информации клиенту (Яндекс Маркет, Amazon и т.д.); Автоматизация диагностики пациентов (Sber MED AI Skin и т.д.); Анализ пассажиропотока (Метро Москвы и т.д.)
Анализ больших данных	Изучение потребительских особенностей клиентов; Прогнозирование спроса.	Динамическое ценообразование на услуги в связи с изменяем спроса (Яндекс такси, Uber и т.д.); Рекомендации товаров и услуг на основе предпочтений клиента (Google ADS, Яндекс Директ и т.д.);
Генеративный искусственный интеллект	Поддержка принятия решений; Консультация (применимо как к исполнителю, так и клиенту); Автоматизация решения части задач сотрудников.	Автоматический опрос пациента и определение предварительного диагноза (Sber MED AI и т.д.); Помощь в выборе товара или услуги (на данный момент концепция активно рассматривается различными авторами); Консультация клиента по определенному профилю (Чат-Бот на портале Госуслуги и т.д.)
Роботизированные решения	Роботы, дроны, автоматы с применением ИИ	Роботизированные курьеры (Яндекс Лавка, Amazon и т.д.); Роботы помощники (Роботы BotsAndUS в аэропорту Хитроу, роботы официанты и т.д.)

гут быть полностью или частично делегированы ИИ. Это снижает зависимость от человеческого труда, минимизирует риски ошибок, связанных с «человеческим фактором», и высвобождает время сотрудников для решения стратегических задач, требующих креативности и экспертизы.

4. Масштабируемость. Облачные технологии и распределенные вычислительные системы позволяют переносить выполнение задач на более производительные сервера, если это необходимо. Например, при росте числа пользователей можно изменить конфигурацию серверов или добавить вычислительные узлы без перестройки всей архитектуры. Это снижает капитальные затраты на оборудование и ПО.
5. Круглосуточная доступность. В отличие от людей, ИИ-системы не нуждаются в перерывах на сон, отдых или выходные, что позволяет им функционировать непрерывно при соблюдении нормальных условий эксплуатации. Это особенно критично в сферах, где простой может привести к значительным потерям.

Слабые стороны:

1. Высокие первоначальные затраты. Одной из ключевых проблем внедрения искусственного интеллекта являются значительные первоначальные инвестиции, необходимые для создания и интеграции таких систем. Разработка ИИ-моделей требует дорогостоящих ресурсов: от сбора и обработки больших массивов данных до аренды мощных вычислительных серверов, которые имеют вычислительные процессоры необходимой архитектуры.
2. Технические ограничения. При работе с ИИ остаются сложности в обработке нестандартных или контекстно-зависимых запросов. Например, боты часто неспособны корректно интерпретировать сарказм, иронию, метафоры или эмоционально окрашенные сообщения
3. Риск сокращения рабочих мест. Автоматизация и внедрение роботизированных систем, несмотря на повышение эффективности, порождают серьёзные социальные вызовы, связанные с массовым сокращением рабочих мест. ИИ алгоритмы постепенно замещают рутинный труд, что приводит к увольнениям низкоквалифицированных сотрудников.
4. Зависимость от качества данных. Ошибки, неточности или смещения в данных приводят к систематическим искажениям в работе ИИ. Особенно критично в таких областях, как медицина или юриспруденция, где некорректные прогнозы способны повлечь за собой серьёзные последствия. Для предотвращения распространения вредоносной или ложной информации с помощью ИИ нужно, чтобы все, кто связан с созданием и использованием данной технологии от разработчиков до пользователей, — ответственно относились к своим действиям и учитывали правовые этические нормы [8].
5. Уязвимость инфраструктуры. Зависимость современных информационных систем от стабильного интернета и энергоснабжения требует наличия инструкций для персонала в случае внештатных ситуаций. При этом стоит отметить сложность аудита ИИ систем в связи с большим количеством связей внутри массивов данных, а также зачастую наличия проприетарных решений.

Возможности:

1. Расширение спектра услуг. Современные компании могут расширить спектр услуг за счет внедрения искусственного интеллекта, что позволяет не только оптимизировать текущие процессы, но и создавать принципиально новые решения. Например, ИИ-алгоритмы анализируют поведение клиентов, предлагая персонализированные услуги, а в здравоохранении системы на основе машинного обучения помогают диагностировать заболевания на ранних стадиях. Роботизированные консультанты, чат-боты и предиктивная аналитика трансформируют клиентский опыт, сокращая время обработки запросов и повышая точность рекомендаций.
2. Прогнозная аналитика. Используя алгоритмы машинного обучения и анализ больших данных, ИИ способен выявлять скрытые закономерности, предсказывая тренды спроса с высокой точностью. Например, такие системы прогнозируют сезонные всплески спроса, оптимизируя управление ресурсами или предсказывая неполадки оборудования учитывая ресурс деталей и частоту использования.
3. Синергия с людьми. Один из ключевых аспектов интеграции искусственного интеллекта в бизнес-процессы, где ИИ выступает не заменой, а усилителем человеческого потенциала. Данный подход не только повышает операционную эффективность, но и стимулирует вовлеченность сотрудников, которые переходят от монотонного труда к самореализации. Компании, внедряющие такой подход, отмечают положительные тенденции, связанные с ускорением рабочего процесса и повышением лояльности сотрудников к работодателю.
4. Глобализация услуг. Алгоритмы ИИ способны учитывать местные традиции, этические нормы и коммуникативные паттерны, чтобы избежать недопонимания или оскорбительных интерпретаций. Например, ИИ-консультанты в сфере финансов или здравоохранения могут адаптировать рекомендации под правовые и социальные реалии конкретных стран.

5. Постоянное обучение ИИ
6. ИИ способен подстраивать свои модели, улучшая персонализацию, например, если пользователь регулярно пропускает определённый тип рекомендаций, алгоритм адаптируется, исключая нерелевантные элементы и предлагая более точные варианты.

Угрозы:

1. Этические и правовые риски. Использование искусственного интеллекта сопряжено с этическими и правовыми вызовами, такими как некорректная трактовка законодательства. Например, ChatGPT или аналогичные системы могут опираться на устаревшие юридические данные или ссылаться на нормы, недействующие в конкретном регионе, что особенно критично в сферах финансовых консультаций или медицинских услуг [9]. Подобные ошибки способны привести к серьёзным последствиям, включая судебные иски или потерю доверия клиентов.
2. Жёсткое регулирование. Глобальное внедрение ИИ сталкивается с ограничениями, накладываемыми законами о защите персональных данных. Эти регуляции требуют строгого контроля над сбором, хранением и обработкой информации, что может замедлить развитие ИИ-сервисов, особенно в регионах с жёсткими требованиями к локализации данных. Например, медицинские ИИ-системы вынуждены адаптироваться к национальным стандартам конфиденциальности.
3. Потеря «человеческого фактора». Важными аспектами положительного клиентского опыта и повышения лояльности клиента являются сочувствие и персонализация, которые сложно реализуемы в случае применения технологий искусственного интеллекта [10]. Автоматизация услуг на основе ИИ нередко вызывает недовольство клиентов из-за отсутствия эмпатии и эмоционального интеллекта. В психологической поддержке, образовании или социальной работе алгоритмы не способны полностью заменить человеческое участие, что приводит к ощущению безличности и снижает эффективность взаимодействия. Например, чат-боты в кризисных ситуациях могут быть восприняты как неуважение к чувствам пользователя, если их ответы слишком шаблонны.
4. Угрозы информационной безопасности. Внедрение ИИ повышает риски кибератак и утечек конфиденциальной информации. Взлом алгоритмов, обученных на персональных данных, или манипуляции с их работой способны нанести ущерб как бизнесу, так и пользователям (например, утечки медицинских записей из диагностических ИИ-систем или кража финансовых данных через уязвимости в банковских чат-ботах). Это требует усиления мер защиты, включая шифрование данных и регулярный аудит систем.

Заключение

ИИ в сфере услуг трансформирует индустрию, повышая эффективность и открывая новые возможности, но необходимо соблюдать баланс между технологиями и человек ориентированностью. При таком подходе гибридные модели (ИИ + люди) позволяют сохранить эмпатию и креативность, делегируя ИИ рутинные задачи. Также многие специалисты отмечают, что повышение квалификации сотрудников в области ИИ положительно сказывается на оптимизации рабочего процесса. При этом необходимо отметить, что важно учитывать регуляторные требования и этические аспекты, чтобы минимизировать правовые риски и сохранить доверие клиентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. World Development Indicators: Structure of value / [Электронный ресурс] // World Bank Group: [сайт]. — URL: https://wdi.worldbank.org/table/4.2 (дата обращения: 01.03.2025).
2. Казакова Н.В., Лысикова О.В. Цифровая трансформация и ее влияние на индустрию сервиса. // Сервис plus. 2023. Т.17. №2. С.27–35. DOI: 10.5281/zenodo.8232360.
3. Gálvez L., Riss J.-P., Ay J., Renda A., Nelissen G. Industry 5.0 — What this approach is focused on, how it will be achieved and how it is already being implemented. / Gálvez L., Riss J.-P., Ay Judith, Renda A, Nelissen G [Электронный ресурс] // Official website of the European Union: [сайт]. — URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en#publications (дата обращения: 05.03.2025).
4. Spohrer Jim. AI Upskilling and Digital Twins: A Service Science Perspective on the Industry 4.0 to Industry 5.0 Shift / Jim Spohrer [Текст] // Translational Systems Sciences 41. Industry 4.0 to Industry 5.0. — Singapore: Springer Nature, 2024. — С. 79–92.
5. Wirtz, J., Pitardi, V. How intelligent automation, service robots, and AI will reshape service products and their delivery [Текст] / Wirtz, J., Pitardi, V. // Italian Journal of Marketing. — 2023. — С. 289–300.
6. Alkaied R.N., Khattab S.A., Al Shaar I.M., Abu Zaid M.K., Al-Bazaiah S.A.I. (2024) The impact of artificial intelligence on re-purchase intentions, the mediation approach // Business Informatics. 2024. Vol. 18. No. 3. P. 87–107. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.3.87.107
7. Пальчунов Д.Е., Якобсон А.А. Разработка интеллектуального помощника для подбора товаров в процессе диалога с пользователем // Бизнес-информатика. 2024. Т. 18. № 1. С. 7–21. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.1.7.21
8. Белая книга этики в сфере искусственного интеллекта / под ред. А.В. Незнамова. — М.: Nova Creative Group, 2024. — 200 с.
9. Мораль и этические ценности ChatGPT: есть ли у ИИ четкая нравственная позиция? [Электронный ресурс] // UNN.RU: Офиц. сайт Университета Лобачевского. 12 марта 2024 года. URL: https://fil.unn.ru/does-ai-have-strong-moral-compass (дата обращения: 06.03.2025)
10. Долганова О.И. Улучшение клиентского опыта взаимодействия с искусственным интеллектом путем соблюдения этических принципов // Бизнес-информатика. 2021. Т. 15. № 2. С. 34–46. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.2.34.46

© Коченков Антон Александрович (i.anton.kochenkov@ya.ru)

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.33

КОМПЛАЕНС, КАК ВАЖНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОЦЕССОВ ИБ

COMPLIANCE AS AN IMPORTANT COMPONENT OF INFORMATION SECURITY PROCESSES

V. Litvinov
A. Pavlov

Summary. The article analyzes the role of compliance in ensuring the information security of organizations against the backdrop of a tightening regulatory environment and growing cyber threats. The main regulations, standards and approaches to information security risk management are considered, such as GDPR, NIST Cybersecurity Framework and Russian standards (GOST R 57580-2017, Federal Law No. 152). The importance of implementing comprehensive measures to comply with legislation is emphasized: audit, monitoring, personnel training, and automation of compliance processes. It also examines the practical challenges organizations face, including a lack of resources and skilled professionals, and the need to adapt to new threats. It analyzes the growth trends in data protection breaches for 2021–2023, confirming the increase in regulatory pressure. It concludes by emphasizing that effective compliance not only helps reduce risks and fines, but also builds trust in the organization in the context of rapid digitalization.

Keywords: compliance, compliance, legal framework, standards, practices, audit, security, regulations, monitoring.

Литвинов Всеволод Вячеславович
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
lvsevolod10@gmail.com
Павлов Алексей Константинович
Аспирант, Московский финансовый юридический университет (МФЮА)
lexus3@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу роли комплаенса в обеспечении информационной безопасности организаций на фоне ужесточения регуляторной среды и роста киберугроз. Рассматриваются основные нормативные акты, стандарты и подходы к управлению рисками информационной безопасности, такие как GDPR, NIST Cybersecurity Framework и российские стандарты (ГОСТ Р 57580–2017, ФЗ № 152). Подчёркивается важность внедрения комплексных мер для соблюдения законодательства: аудита, мониторинга, обучения персонала и автоматизации процессов комплаенса. Также рассматриваются практические сложности, с которыми сталкиваются организации, включая нехватку ресурсов и квалифицированных специалистов, а также необходимость адаптации к новым угрозам. Анализируются тенденции роста нарушений в области защиты данных за 2021–2023 годы, подтверждающие увеличение регуляторного давления. В заключение подчёркивается, что эффективный комплаенс способствует не только снижению рисков и штрафов, но и укреплению доверия к организации в условиях стремительной цифровизации.

Ключевые слова: комплаенс, соответствие требованиям, нормативно-правовая база, стандарты, практики, аудит, безопасность, положения, мониторинг.

Введение

Комплаенс в сетевой безопасности — это соблюдение установленных правил и стандартов, направленных на защиту конфиденциальной информации и обеспечение подотчетности организации перед лицом киберугроз. По мере того, как утечки данных и кибератаки становятся все более распространенными, эффективные механизмы обеспечения соответствия критически важны для защиты персональных и корпоративных данных, тем самым поддерживая доверие заинтересованных сторон и репутацию организации. Соответствие нормативным требованиям подразумевает не только выполнение юридических обязательств, но и проактивный подход к обеспечению кибербезопасности в соответствии с лучшими отраслевыми практиками, например, изложенными в Общем регламенте защиты данных (GDPR) и Федеральный законе «Об информации, информационных технологиях и о защите информации». [1][2]

Важность соблюдения требований сетевой безопасности подчеркивается значительными юридическими и финансовыми последствиями, которые грозят организациям за их несоблюдение. Например, нарушение GDPR может привести к штрафам в размере до 20 миллионов евро или 4 % годового мирового оборота, что подчеркивает необходимость создания надежных программ обеспечения соответствия.[1][3] Более того, такие системы, как NIST Cybersecurity Framework, предлагают структурированные подходы, которые организации могут использовать для эффективного управления и снижения рисков кибербезопасности.[4]

Однако обеспечение соответствия является постоянной проблемой. В условиях меняющегося ландшафта угроз, сложных нормативных требований и нехватки ресурсов, это особенно важно для небольших организаций.[5][6]

Споры вокруг соблюдения норм сетевой безопасности часто разворачиваются вокруг эффективности и практичности различных нормативно-правовых актов. Критики утверждают, что чрезмерно строгие нормы могут подавлять инновации и налагать неоправдан-

ное бремя на предприятия, в то время как сторонники утверждают, что такие меры необходимы для защиты данных потребителей и создания безопасной цифровой среды.[7][8] Кроме того, быстрый темп технологического прогресса вызывает вопросы о том, насколько существующие нормы адекватно учитывают новые риски.

В целом, соблюдение требований сетевой безопасности — это многогранная проблема, требующая от организаций баланса между юридическими обязательствами и практическими мерами безопасности.

Методы

Исследование основывалось на анализе нормативных актов, стандартов и практик в области сетевой безопасности. Рассматривались такие международные стандарты, как GDPR, NIST Cybersecurity Framework, и российские ГОСТ Р 57580–2017, Федеральный закон № 152-ФЗ «О персональных данных».

Ход исследования включал следующий пункты.

1. Сравнительный анализ стандартов и требований сетевой безопасности.
2. Изучение методов внедрения стандартов, включая аудит, мониторинг, и адаптацию к изменениям нормативных требований.
3. Сравнение отечественных и зарубежных инструментов для обеспечения комплаенса.

Применялись практические стратегии, такие как документирование регламентов, обучение сотрудников и использование программных решений для управления соответствием.

Результаты

Нормативно-правовые акты в области сетевой безопасности устанавливают рекомендации и лучшие практики, которым должны следовать организации для обеспечения соответствия различным законодательным требованиям для повышения уровня кибербезопасности. Эти рамки имеют решающее значение для управления сложным ландшафтом нормативных актов, регулирующих защиту данных, конфиденциальность и кибербезопасность в разных юрисдикциях.

Основные положения в Мире. Несколько важных нормативных актов формируют ландшафт соответствия для организаций, особенно в отношении обработки персональных данных и информационной безопасности.

Общий регламент по защите данных (GDPR) — это всеобъемлющий закон, который применяется к любой организации, обрабатывающей персональные данные физических лиц на территории Европейского союза (ЕС), независимо от местонахождения организации[1][3]. Введенный в действие в мае 2018 года, GDPR устанавливает строгие требования к сбору, обработке и хранению данных, стремясь предоставить людям больший контроль над своими персональными данными. Несоблюдение требований может привести к крупным штрафам, достигающим 20 миллионов евро или 4 % от мирового годового оборота, в зависимости от того, какая сумма больше [1][3]. Ключевыми компонентами GDPR являются минимизация данных, прозрачность обработки данных и требование явного согласия на обработку персональных данных[13].

Калифорнийский закон о защите частной жизни потребителей (CCPA) — предоставляет жителям особые права в отношении их личной информации, включая право знать, какие данные о них собираются, и право требовать удаления своих данных [2]. Как и GDPR, CCPA делает акцент на прозрачности и правах потребителей, но при этом адаптирован к уникальному правовому ландшафту Калифорнии.

NIST Cybersecurity Framework (NIST CSF) предоставляет организациям структурированный подход управлению рисками кибербезопасности. В ней описаны пять основных функций: идентификация, защита, обнаружение, реагирование и восстановление[4].

В России существует своя нормативно-правовая база для организаций.

ГОСТ Р 57580–2017 — этот закон является аналогом подхода NIST CSF, Этот стандарт предоставляет аналогичный структурированный подход к управлению рисками информационной безопасности, охватывая такие же функции, как идентификация, защита, обнаружение, реагирование и восстановление.

Федеральный закон № 152-ФЗ «О персональных данных» — этот закон регулирует обработку персональных данных в России и устанавливает требования для операторов данных в отношении их сбора, хранения, обработки и защиты. Он соответствует многим положениям GDPR, например, требованию о получении согласия на обработку данных, установлению целей обработки и защите прав субъектов данных. Важно, что для международных компаний, работающих с данными российских граждан, закон предусматривает необходимость локализации хранения персональных данных на территории России.

Стандарт ГОСТ Р 57580–2017 «Система менеджмента информационной безопасности. Требования» является российским аналогом международных стандартов ISO 27001 и ISO 27002 и предоставляет организацию с требованиями к созданию и поддержанию системы управления информационной безопасностью (СМИБ).

Федеральный закон № 126-ФЗ «О связи» регулирует вопросы безопасности телекоммуникационных сетей и защиты информации, передаваемой через эти сети.

В России существуют также нормативно-правовые акты, касающиеся защиты информации в контексте национальной безопасности (Документы Федеральной службы безопасности (ФСБ)). Например, Приказ ФСБ России № 378 и Федеральный закон «О техническом обеспечении безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» устанавливают требования по защите информации, передаваемой через каналы связи, и управление угрозами в области кибербезопасности в критической инфраструктуре.

Рамки для кибербезопасности в России (РКК). Российская система стандартов и норм в области кибербезопасности, такие как ГОСТ Р 51583–2014 «Средства защиты информации. Оценка соответствия средств защиты информации» и ГОСТ Р 57580–2017, направлены на улучшение системы защиты информации в России.

Стандарт безопасности данных индустрии платежных карт (PCI DSS) — это набор стандартов безопасности, разработанных для того, чтобы гарантировать, что компании, которые принимают, обрабатывают, хранят или передают информацию о кредитных картах, поддерживают безопасную среду [14]. Для российского контекста аналогом PCI DSS является несколько нормативных актов и стандартов, регулирующих безопасность данных в сфере финансов и платежных систем

ГОСТ Р 57334–2016 «Система защиты информации. Требования безопасности для платежных карт» — этот стандарт, аналогичный PCI DSS, устанавливает требования безопасности для защиты данных при работе с платежными картами. Он охватывает аспекты, связанные с обработкой, хранением и передачей данных платёжных карт, а также с защитой транзакционных данных в финансовых учреждениях. В нем прописаны меры, направленные на предотвращение утечек данных, а также контроль за соблюдением стандартов безопасности.

Федеральный закон № 161-ФЗ «О национальной платежной системе» регулирует деятельность в области платежных систем и устанавливает требования к защите данных в процессе выполнения платежных операций.

Рекомендации Центрального банка России (ЦБ РФ) для организаций, работающих в сфере платежных систем, таких как банки и процессинговые компании. Одним из таких актов является Положение о защите информации при осуществлении платежных операций.

Приказ ФСБ России № 378 — нормативный акт, регулирующий вопросы безопасности информации, также затрагивает аспекты защиты данных при работе с финансовыми операциями и транзакциями.

Важность соответствия требованиям нормативно-правовой базы

Стандарты соответствия в области сетевой безопасности — это установленные правила и протоколы, которым должны придерживаться организации для обеспечения безопасности, целостности и эффективности своей сетевой инфраструктуры. Эти стандарты помогают снизить риски, связанные с утечкой данных и несанкционированным доступом и способствуют укреплению доверия со стороны заинтересованных сторон и клиентов, сохраняя при этом операционную целостность [5] [11]. Приведем ключевые стандарты соответствия.

ISO/IEC 27001 — это признанный во всем мире стандарт управления информационной безопасностью, в котором изложены требования к системе управления информационной безопасностью (СУИБ). Он подчеркивает системный подход к управлению конфиденциальной информацией компании, охватывающий людей, процессы и технологии.

ГОСТ Р 57580–2017 «Система менеджмента информационной безопасности. Требования» — это российский стандарт, который является аналогом ISO/IEC 27001 и устанавливает требования к созданию и поддержанию СУИБ. Он охватывает все важнейшие аспекты информационной безопасности, включая анализ рисков, управление доступом, защиту данных и защиту от угроз, что соответствует принципам ISO/IEC 27001.

NIST Cybersecurity Framework представляет собой набор добровольных рекомендаций для организаций по управлению и снижению рисков кибербезопасности. Она состоит из пяти ключевых функций: Идентификация, Защита, Обнаружение, Реагирование и Восстановление. Эта система помогает организациям выработать комплексный подход к кибербезопасности, затрагивая различные аспекты, такие как управление активами и планирование реагирования на инциденты[17].

ГОСТ Р 51901.1–2014 «Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Основные положения» представляет собой набор рекомендаций для обеспечения безопасности в сфере информационных технологий, аналогичных компонентам NIST Cybersecurity Framework. В нем описаны меры, связанные с идентификацией, защитой, обнаружением и реагированием на угрозы информационной безопасности. Он помогает организациям формировать структуру управления рисками, что аналогично принципам NIST CSF.

Исследование базировалось на изучении нарушений в области обеспечения безопасности персональных

данных Российскими компаниями за период 2021–2023 года.

Для подведения статистики выделим количество общих нарушений, а также те положения законодательства, по которым были зафиксированы нарушения, и соответственно обозначим количество штрафов, наложенных на компании, в зависимости от количества нарушений.

Таблица 1.

Сводная таблица нарушений за указанный период

Год	Общее количество нарушений	Нарушения по конкретным статьям	Количество штрафов
2021	51	Ч. 1 ст. 8: 19	15
		Иные: 32	
2022	120	Ч. 3 ст. 6: 22	40
		Иные:98	
2023	151	Ч. 3 ст. 6: 34	50
		Ч. 3 ст. 6 (волеизъявление): 43	
		Иные:74	

График роста количества нарушений за указанный период демонстрируется на рисунке 1 и 2.

По приведённым данным прослеживается закономерность роста количество нарушений в сфере защиты прав субъектов персональных данных с каждым годом. Так, в 2021 году зафиксировано 51 нарушение, в 2022 году — 120, а в 2023 году эта цифра возросла до 151.

Это увеличение нарушений непосредственно коррелирует с ростом вероятности наложения санкций. Чем больше нарушений, тем выше вероятность того, что регуляторы применят меры по обеспечению соблюдение законодательства. В приведённой таблице для каждого года указано количество штрафов. Количество штрафных санкций составляет примерно 30 % от общего числа нарушений.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что количество применённых штрафных санкций со стороны регуляторов в области защиты персональных данных напрямую связано с числом нарушений, которое, в свою очередь, растёт из года в год, что в свою очередь подчеркивает важность соблюдения норм законодательства и необходимости для компаний иметь надлежащие механизмы, в частности механизмы комплаенса для обеспечения исполнения требований законодательства в области защиты персональных данных, а также норм иных законодательных актов в целях избежания наложения на них штрафных санкций.

Обсуждение

Чтобы эффективно поддерживать соответствие вышеперечисленным стандартам, организациям следует внедрить следующие практики.

Регулярный мониторинг и отчетность позволяют интегрировать соблюдение нормативных требований в стандартные бизнес-операции, превращая их в непрерывный процесс, а не в разовую задачу [7].

Обучение и информирование сотрудников. Формирование культуры соблюдения требований включает в себя регулярные программы обучения. Хорошо подготовленные сотрудники могут обнаружить уязвимости и значительно снизить вероятность несоблюдения требований[11][8].

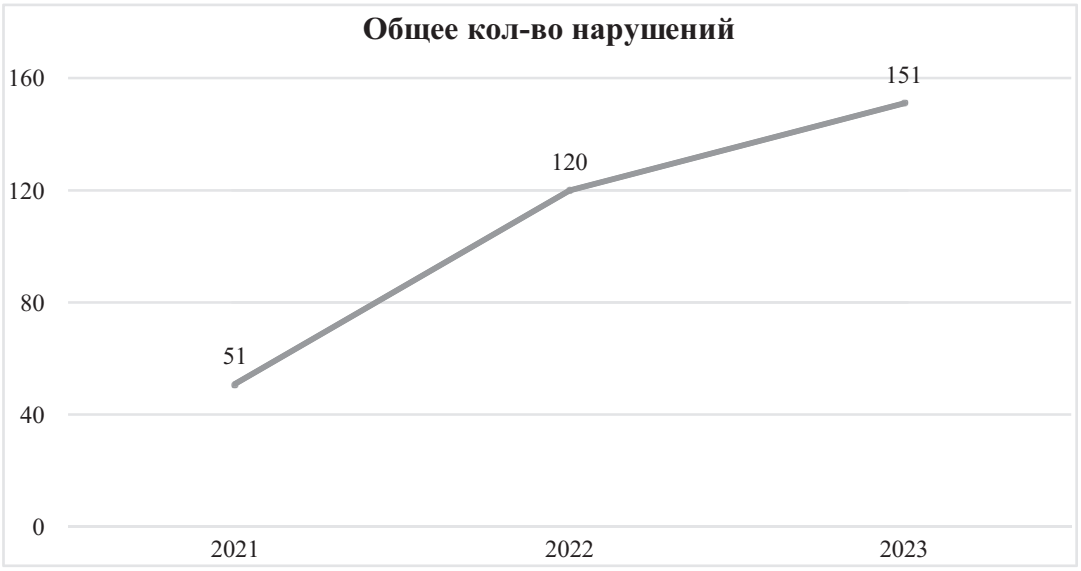


Рис. 1. График роста количества нарушений за период 2021–2023 гг.



Рис. 2. График роста количества штрафов за нарушения за период 2021–2023 гг.

Использование программного обеспечения для управления соответствием позволяет оптимизировать процессы, связанные с нормативными требованиями. Автоматизация задач, связанных с соблюдением нормативных требований, обеспечивает постоянный мониторинг и способность быстро адаптировать их к изменениям в законодательстве[11][8].

Внедрение комплексных процессов документирования необходимо для обеспечения четкого соблюдения требований. Документирование политик, процедур и обновлений обеспечивает информированность и подотчетность всех заинтересованных сторон, что помогает продемонстрировать соответствие требованиям во время аудитов и проверок[11][8].

Следуя этим стандартам и передовым практикам, организации могут защитить конфиденциальную информацию, снизить риски и укрепить доверие клиентов и партнеров в условиях цифрового взаимодействия.

Оценка соответствия и аудит являются важнейшими компонентами для обеспечения соблюдения нормативных требований в области сетевой безопасности.

Регулярные аудиты соответствия требованиям необходимы для выявления областей, требующих обеспечения соответствия организаций отраслевым нормам, перечисленным ранее[5].

Процесс аудита обычно включает в себя несколько основных этапов:

Планирование: определение масштаба аудита, цели и методологии, которые будут использоваться.

Сбор данных: сбор необходимой информации, включая сведения о конфигурации, журналы и сетевые карты.

Анализ: оценка собранных данных в соответствии с установленными политиками безопасности и стандартами соответствия.

Тестирование: проведение оценок, которые могут включать имитацию атак для выявления уязвимостей .

Отчетность: документирование результатов, включая обнаруженные уязвимости и рекомендации по корректирующим действиям.

Устранение: Устранение результатов аудита путем внедрения рекомендованных корректирующих мер.

Непрерывный мониторинг в режиме реального времени соответствует требованиям и становится все более важным, поскольку позволяет организациям осуществлять надзор за своей сетевой безопасностью. Для этого необходимо использовать автоматизированные инструменты, которые непрерывно сканируют систему на соответствие различным нормативным стандартам и автоматически документируют любые несоответствия.

Чтобы максимально повысить эффективность аудита соответствия, организациям следует придерживаться нескольких лучших практик:

— Разработать и внедрить комплексные политики безопасности и регламенты реагирования на инциденты [17].
— Проводить регулярные внутренние и внешние аудиты, чтобы обеспечить постоянное соблюдение требований и выявить области для улучшения [17].
— Обучение сотрудников по вопросам соблюдения требований.[5].
— Документирование регламентов по исполнению политик и процедур и по реагированию на события и инциденты ИБ. [17].

Соблюдая эти правила, организации смогут более эффективно справляться со сложностями оценки соответствия и аудита, тем самым повышая общий уровень безопасности и снижая риски, связанные с несоблюдением требований.

Поддержание соответствия стандартам сетевой безопасности ставит перед организациями ряд серьезных задач, в основном обусловленных динамичным ландшафтом угроз и ограниченностью ресурсов.

Развивающийся ландшафт угроз. Постоянно меняющийся характер киберугроз представляет собой серьезное препятствие для соблюдения нормативных требований. По мере того как киберпреступники совершенствуют свои методы и разрабатывают все более изощренные векторы атак, организации должны постоянно адаптировать свои стратегии соблюдения нормативных требований, чтобы противостоять меняющимся рискам[6]. Эта постоянная задача требует необходимости интеграции передовых технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение, для повышения уровня безопасности [5][9].

Ограниченность ресурсов существенно влияет на способность организации соответствовать стандартам сетевой безопасности. Многие компании, особенно небольшие, сталкиваются с бюджетными ограничениями, которые лишают возможности инвестиции в необходимые технологии, квалифицированный персонал и программы обучения [5]. Нехватка ресурсов может привести к появлению критических уязвимостей и препятствовать принятию надежных мер безопасности, необходимых для соблюдения стандартов [5].

Кроме того, нехватка квалифицированных специалистов по кибербезопасности усугубляет эти проблемы, поскольку организациям трудно нанять и удержать талантливых сотрудников, способных эффективно выполнять требования по соблюдению нормативных требований [8].

Существующая сложность и сегодняшнее быстрое развитие нормативно-правовой базы еще сильнее усложняют работу по обеспечению соответствия. Организациям приходится ориентироваться в огромном количестве инструкций, которые могут меняться так же быстро, как появляются новые угрозы ИБ[7][8]. Такая динамичная нормативная среда требует от компаний внедрения гибких методов обеспечения соответствия требованиям нормативно правовой базы ИБ, что может быть затруднительно без наличия соответствующих ресурсов и опыта [7][8].

В каждом сегменте рынка информационной безопасности существуют разнообразные инструменты, которые способны существенно ускорить и упростить процессы аудита, выявления уязвимостей и обеспечения соответствия стандартам. Ниже представлен краткий сравнительный обзор как отечественных, так и зарубежных решений в каждой из ключевых категорий.

1. Сканирование на уязвимости

Отечественные разработки:

Российский рынок представлен комплексными системами многоуровневого сканирования, обеспечивающими всестороннюю оценку состояния защищенности информационных систем. Наиболее технологически продвинутые отечественные решения поддерживают широкий спектр платформ и обеспечивают детальное сканирование внутренних сетей, веб-приложений и критической инфраструктуры. Следует отметить наличие в российском сегменте как масштабируемых корпоративных платформ глубокого анализа, так и более доступных решений для оперативной оценки сетевых уязвимостей с акцентом на безопасность веб-ресурсов.

Зарубежные разработки:

Иностранные сканеры уязвимостей характеризуются высокой степенью интеграции с международными базами данных угроз и обширными каталогами уязвимостей. Особое внимание уделяется автоматизации процессов верификации и валидации обнаруженных слабых мест. Преимуществами зарубежных решений являются облачная архитектура развертывания, возможность динамического масштабирования и регулярное обновление базы сигнатур в соответствии с актуальной моделью угроз.

2. Мониторинг сети

Отечественные разработки:

Российские системы мониторинга сетевой инфраструктуры специализируются на глубинном анализе сетевого трафика и детектировании аномальной активности. Существенным преимуществом отечественных

решений является адаптированность к особенностям национальной нормативно-правовой базы и учет специфических требований регуляторов. Функциональность данных систем включает в себя комплексный анализ сетевой активности и превентивную защиту от несанкционированного доступа к конфиденциальным данным.

Зарубежные разработки:

Зарубежные платформы мониторинга отличаются высокопроизводительной обработкой значительных массивов гетерогенных данных, что обеспечивает эффективный анализ как в режиме реального времени, так и при ретроспективном исследовании инцидентов безопасности. Модульная архитектура иностранных решений позволяет интегрировать дополнительные функциональные блоки посредством специализированных плагинов, что существенно расширяет аналитические возможности систем мониторинга.

3. Тестирование на проникновение

Отечественные разработки:

В российском сегменте представлены комплексные платформы для автоматизированного моделирования угроз и эмуляции атак на инфраструктуру. Отечественные решения в данной категории интегрируют функции имитации действий злоумышленников с элементами обучения специалистов по информационной безопасности. Особую ценность представляют технологические решения, обеспечивающие возможность верификации защищенности инфраструктуры в условиях, приближенных к реальным сценариям кибератак.

Зарубежные разработки:

Иностранные средства для автоматизированного моделирования угроз и эмуляции атак на инфраструктуру характеризуются универсальностью применения и обширным инструментарием для разработки и эксплуатации уязвимостей. Зарубежные решения демонстрируют высокую степень автоматизации процессов тестирования безопасности веб-приложений с интегрированными механизмами анализа исходного кода и взаимодействия с тестируемыми системами.

4. Оценка соответствия

Отечественные разработки:

Российские системы оценки соответствия ориентированы на автоматизацию процессов верификации защищенности информационных систем согласно требованиям национальных регуляторов (ФСТЭК, ФСБ, Центробанк). Отечественные решения в данном сегменте характеризуются интуитивно понятным интерфейсом и предустановленными шаблонами проверок в соответствии с актуальными нормативными документами, что существенно упрощает процедуру подготовки к сертификации информационных систем.

Зарубежные разработки:

Зарубежные платформы управления соответствием предлагают интегрированные механизмы анализа рисков и контроля исполнения политик информационной безопасности в масштабах глобальных корпораций. Международные решения данного класса отличаются возможностью одновременного соответствия нормативным требованиям различных юрисдикций и отраслевым стандартам (ISO 27001, GDPR, HIPAA, PCI DSS).

По мере развития нормативно-правовой базы организации должны вкладывать средства в программы непрерывного обучения и повышения осведомленности своих сотрудников, чтобы они всегда были в курсе всех изменений в нормативно-правовой базе.

Заключение

В заключение, важность комплаенса безопасности сети становится все более очевидной на фоне быстрого развития цифровых технологий и актуальных угроз в области информационной безопасности. Эффективное интегрирование соблюдения нормативных требований в повседневные бизнес-операции не только повышает уровень защищенности организаций, но и способствует устойчивому функционированию отдела информационной безопасности. Анализ зарубежной и отечественной нормативно-правовой базы, а также представленные практики и инструменты для достижения соответствия стандартам, подчеркивают необходимость разработки комплексного подхода к комплаенсу. В условиях стремительных изменений в цифровом пространстве организации должны признавать комплаенс как неотъемлемую часть своей стратегии, что обеспечит их долгосрочную защиту и конкурентоспособность на рынке.

ЛИТЕРАТУРА

1. «6 Security Controls You Need for GDPR Compliance.» — Text: electronic // Creative Networks: [website]. — URL: https://www.creative-n.com/blog/6-security-controls-for-gdpr-compliance/ (access date: 13.03.2025).: The Best Cybersecurity Standards and Frameworks — RiskSight.
2. «GDPR Compliance for Network Security.» — Text: electronic // codingdrills: [website]. — URL: https://www.codingdrills.com/tutorial/network-security-tutorial/gdpr-network-security (access date: 13.03.2025).
3. «10 Data Security Challenges Met by Organizations and CISOs.» — Text: electronic // sealpath: [website]. — URL: https://www.sealpath.com/blog/data-security-issues/ (access date: 13.03.2025).
4. George Mutune. «23 Top Cybersecurity Frameworks.» / Mutune George. — Text: electronic // cyberexperts: [website]. — URL: https://cyberexperts.com/cybersecurity-frameworks/ (access date: 13.03.2025).
5. Antti Pekkala. «Practical Strategies to Overcome Cybersecurity Challenges.» / Pekkala Antti. — Text: electronic // nomentia: [website]. — URL: https://www.nomentia.com/blog/practical-cybersecurity-strategies-to-overcome-challenges (access date: 13.03.2025).
6. «What is a Compliance and Regulatory Framework?» — Text: electronic // rapid7: [website]. — URL: https://www.rapid7.com/fundamentals/compliance-regulatory-frameworks/ (access date: 13.03.2025).
7. Editorial Staff. «Essential Guide to Network Security Compliance Standards.» / Staff Editorial. — Text: electronic // The Tech Artist: [website]. — URL: https://thetechartist.com/network-security-compliance-standards/ (access date: 13.03.2025).
8. Editorial Staff. «Understanding Network Compliance Standards for Enhanced Security.» / Staff Editorial. — Text: electronic // The Tech Artist: [website]. — URL: https://thetechartist.com/network-compliance-standards/ (access date: 13.03.2025).
9. «Common IT Security Standards, Regulations, And Frameworks.» — Text: electronic // jones it: [website]. — URL: https://www.itjones.com/blogs/common-it-security-standards-regulations-and-frameworks (access date: 13.03.2025).
10. «Compliance and Legal Considerations in Network Security.» — Text: electronic // CYB Software — Network Security & Securing Digital Transformation: [website]. — URL: https://cybsoftware.com/compliance-and-legal-considerations-in-network-security/ (access date: 13.03.2025).
11. Ryerse Jay. «Top 11 Cybersecurity Frameworks.» / Jay Ryerse. — Text: electronic // connectwise: [website]. — URL: https://www.connectwise.com/blog/cybersecurity/11-best-cybersecurity-frameworks (access date: 13.03.2025).
12. Mainse Noah. «Top 5 Best Network Security Audit Tools to Safeguard Your Data.» / Noah Mainse. — Text: electronic // cybermatters: [website]. — URL: https://cybermatters.info/security-tools/best-network-security-audit-tools/ (access date: 13.03.2025).
13. «Comprehensive Guide to Network Compliance for IT Professionals.» — Text: electronic // eoxs: [website]. — URL: https://eoxs.com/new_blog/comprehensive-guide-to-network-compliance-for-it-professionals/ (access date: 13.03.2025).
14. Nagaraj Kuppuswamy. «Cyber Security Audit and Compliance: A Complete Guide to Safeguarding Your Network.» / Kuppuswamy Nagaraj. — Text: electronic // Beaconer: [website]. — URL: https://beaconer.io/cyber-security-audit-and-compliance-a-complete-guide-to-safeguarding-your-network/ (access date: 13.03.2025).
15. Developments Pepper. «Key Challenges in Cybersecurity Compliance and How to Overcome Them.» / Developments Pepper. — Text: electronic // datagr8: [website]. — URL: https://datagr8.com/blogs/information/key-challenges-in-cybersecurity-compliance-and-how-to-overcome-them (access date: 13.03.2025).
16. Fitzgerald Anna. «5 Hardest Things About Security Compliance and How Technology Can Help.» / Anna Fitzgerald. — Text: electronic // secureframe: [website]. — URL: https://secureframe.com/blog/security-compliance-challenges (access date: 13.03.2025).
17. Nigam Nidhi. «The Role of Artificial Intelligence and Machine Learning in Enhancing Cybersecurity Against Cybercrime.» / Nidhi Nigam. — Text: electronic // EC-Council CYBERSECURITY EXCHANGE: [website]. — URL: https://www.eccouncil.org/cybersecurity-exchange/network-security/role-of-ai-ml-in-enhancing-cybersecurity-against-threats/ (access date: 13.03.2025).

© Литвинов Всеволод Вячеславович (lvsevolod10@gmail.com); Павлов Алексей Константинович (lexus3@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.34

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

FORECASTING OF NON-STATIONARY TIME SERIES BASED ON COGNITIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

M. Mazurov
A. Slipchenko

Summary. The main properties of stationary and non-stationary time series are given. The properties of the basic ARIMA program for forecasting stationary time series are given. The main methods of forecasting non-stationary time series, which are most used at the present time, are described. These are the following forecasting methods: 1. Transformational methods of forecasting large time series; 2. Cognitive forecasting methods based on the use of cognitive maps; 3. Forecasting methods based on the use of a sliding window. An example of forecasting non-stationary time series on the stock exchange is given.

Keywords: forecasting, stationary, non-stationary time series, transformerical forecasting methods, cognitive methods, sliding window method.

Мазуров Михаил Ефимович
Доктор физико-математических наук, профессор, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
mazurov37@mail.ru
Слипченко Алексей Вячеславович
Аспирант, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
alexey.slipchenko@yandex.ru

Аннотация. Приведены основные свойства стационарных и нестационарных временных рядов. Приведены свойства базовой программы ARIMA для прогнозирования стационарных временных рядов. Приведено описание основных методов прогнозирования нестационарных временных рядов, наиболее используемых в настоящее время. Это следующие методы прогнозирования: 1. Трансформерные методы прогнозирования больших временных рядов; 2. Когнитивные методы прогнозирования, основанные на использовании когнитивных карт; 3. Методы прогнозирования на использовании скользящего окна. Приведен пример прогнозирования нестационарного временного рядов на фондовой бирже.

Ключевые слова: прогнозирование, стационарные, нестационарные временные ряды, транформерные методы прогнозирования, когнитивные методы, метод скользящего окна.

Прогнозирование временных рядов в естественных науках: от климатологии до биологии, экономики требует анализа данных со сложными временными зависимостями. Современные методы машинного обучения помогают находить скрытые паттерны в таких данных, но их эффективность зависит от правильного выбора архитектур и методов обработки. В настоящее время технологии прогнозирования получили значительное развитие благодаря использованию нейронных сетей и машинных методов искусственного интеллекта. Цель данной работы представление современных технологий прогнозирования временных рядов.

Временные ряды можно разделить на стационарные и нестационарные. В настоящее время большинство практически важных временных рядов в банковской сфере, на фондовой бирже являются нестационарными. Стационарные временные ряды сохраняют постоянные статистические свойства со временем.

Нестационарные временные ряды отличаются переменными статистическими свойствами. На них сильно влияют тренды или сезонность. Стационарность — ключевое свойство ряда, необходимое для использования большинства «классических» методов прогнозирования. Если данные не стационарны, анализ может быть неточным или вообще не привести к результатам.

Единой классификации методов прогнозирования не существует. При математическом моделировании используют методы: статистические, динамические, линейные, нелинейные, оптимизационные.

Перечислим наиболее известные в настоящее время модели прогнозирования стационарных временных рядов. Наиболее широко используемой является модель ARIMA [1]. ARIMA расшифровывается как «авто регрессионное интегрированное скользящее среднее», — это широко используемый статистический метод прогнозирования временных рядов. Он объединяет три ключевых компонента для моделирования данных:

1. Авторегрессия (AR). Учитывает зависимость между текущим наблюдением и определённым количеством предыдущих наблюдений.

2. Интегрирование (I). Преобразует данные временного ряда в стационарный, то есть делает его статистические характеристики (среднее, дисперсия) постоянными со временем. Обычно для этого к ряду применяют операцию разности один или несколько раз.
3. Скользящее среднее (MA). Моделирует ошибку между реальным наблюдением и прогнозируемым значением, используя комбинацию значений ошибок предыдущих шагов.

Общая формула для несезонной модели ARIMA выглядит ARIMA (*p*, *q*) таким образом:

$$y_t = c + \varnothing_1 y_{t-1} + \varnothing_2 y_{t-2} + \ldots + \\ + \varnothing_p y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \ldots + \theta_q \varepsilon_{t-q}'$$

где y_t — стационарный временной ряд в момент времени *t*;

c — постоянная или среднее значение временного ряда;

$\varnothing_1, \varnothing_2, \ldots, \varnothing_p$ — авторегрессионные параметры;

ε_t — погрешность белого шума в момент времени t;

$\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_q$ — параметры скользящего среднего.

Параметры *p, q* в ARIMA (*p, q*) обозначают: *p* — порядок авторегрессии; *q* — порядок скользящей средней. Имеется ряд вариантов модели

Классическая модель ARIMA накладывает существенные ограничения в исследовательский процесс, что проявляется в следующих моментах:

1. Чувствительность к не стационарности и структурным изменениям: Модель предполагает стационарность ряда, что требует предварительного преобразования данных, включая дифференцирование, которое при избыточном применении может привести к пере дифференцированию;
2. Отсутствие адаптации к резким структурным сдвигам: ARIMA не учитывает внезапные изменения динамики временного ряда, такие как экономические кризисы;
3. Ограниченная способность к моделированию сложных паттернов: Линейная структура ARIMA не позволяет адекватно улавливать нелинейные зависимости в данных.

Рассмотрим современные методы прогнозирования нестационарных временных рядов с использованием когнитивных технологий искусственного интеллекта.

LSTM (Long short-term memory). Это «долгая краткосрочная память», разновидность архитектуры рекуррентных нейронных сетей [2]. Архитектура этой нейронной сети сама решает, что «запомнить», а что «забыть» на каждом временном шаге. LSTM хорошо приспособлена к обучению на задачах классификации, обработки и прогнозирования временных рядов в случаях, когда важные события разделены временными лагами с неопределённой продолжительностью и границами.

LSTM — это тип нейронной сети, который умеет запоминать важную информацию из прошлого, даже если она появилась давно [2]. При предсказании погоды LSTM запомнит, что дожди в регионе обычно длятся три дня, и учтет это, даже если между событиями прошло много времени. Это достигается за счет специальных «ворот», которые решают, какую информацию сохранить, а какую забыть. LSTM используется, например, для прогнозирования землетрясений или моделирования роста популяций. Современные модификации модели включают: 1. Attention-LSTM: добавляет механизм внимания по аналогии с трансформерами для выделения ключевых временных точек. Используется в прогнозировании урожайности, где важно учитывать критические периоды роста растений. 2. Bidirectional LSTM: анализирует данные в прямом и обратном направлениях, что полезно для реконструкции пропущенных значений в экологических дата сетах.

Прогнозирование нестационарных временных рядов с помощью трансформеров

Трансформером принято называть в общем смысле, нечто преобразующее или преобразующееся. В последнее время появились методы анализа временных рядов, основанные на использовании трансформеров. Первоначально трансформеры использовались для анализа и прогнозирования текстовых файлов, содержащих определенные последовательности элементов Положительным свойством трансформеров является возможность их идентификации из больших массивов данных. Это свойство трансформеров может быть полезно для анализа и прогнозирования больших данных [3–6]. Трансформеры могут быть использованы для прогнозирования временных рядов благодаря своей способности находить сложные взаимосвязи между значениями в длинных последовательностях. Для обучения трансформеров могут быть использованы большие объёмы временных рядов, что является полезным свойством трансформеров. Трансформеры позволяют выделить близкие по свойствам последовательности данных и затем перейти к параллельному исследованию выделенных последовательностей. Дадим более подробное описание имеющихся типов трансформеров.

Трансформеры это нейросети, которые анализируют данные не по порядку, а сразу целиком, выделяя самые важные связи между точками данных. Их главный инструмент — механизм внимания, фокусирующийся на ключевых элементах последовательности. Среди

трансформерных моделей для прогнозирования явлений в естественных науках могут быть особенно полезны следующие три вида архитектур:

1. Temporal Fusion Transformer (TFT). Объединяет разные типы данных (например, температуру, влажность и время года) для прогнозирования. Модель умеет выделять, какие факторы важны в конкретный момент. Например, для предсказания урожая TFT учтет и погоду, и исторические данные о почве благодаря разделению данных на три категории: статические (географические координаты, тип почвы), временные (погода, время года) и динамические признаки, изменяющиеся во времени переменные, например, уровень загрязнения).
2. Informer. Создан для работы с очень длинными временными рядами (например, десятилетиями наблюдений за солнечной активностью). Informer упрощает вычисления, фокусируясь только на самых информативных точках данных, что ускоряет прогнозирование.
3. Autoformer. Специализируется на данных с повторяющимися паттернами, например, сезонными колебаниями температуры. Autoformer автоматически находит циклы (вроде суточных или годовых) и разделяет данные на «тренд» (общее направление) и «сезонность» (периодические изменения).

Методы прогнозирования с помощью когнитивных карт

Прогнозирование с помощью когнитивных карт основано на методологии когнитивного моделирования, которая позволяет анализировать и прогнозировать развитие ситуаций, учитывая причинно-следственные связи между факторами [7–9].

Когнитивные карты являются основой сознания, интеллекта и мышления человека. Когнитивная составляющая мозга человека организована в виде когнитивной карты. Когнитивные карты в упрощенной схематизированной форме нашли применение для исследования слабоструктурированных и недостаточно четко определенных экономических систем. Когнитивная карта строится экспертным путём в виде ориентированного знакового графа. Вершины графа определяются как концепты, а дуги определяют причинно-следственные отношения, вес которых отражает силу влияния факторов. Достоинством когнитивных карт является возможность использования информационных сведений, предоставляемых экспертами.

С помощью когнитивных карт решаются задачи: 1. Выявление структуры причинных связей между элементами системы; 2. Оценка последствий воздействия на факторы или изменения характера связей; 3. Построение прогнозов развития ситуации на основе вычисленных влияний факторов. Когнитивные карты применяются в различных областях банковского дела, на фондовой бирже, в различных отраслях бизнеса.

Приведем пример когнитивной карты для анализа экономической деятельности фирмы, показанный на рис. 1.

Прогнозирование нестационарных временных рядов методом скользящего окна, основанное на использовании характерных повторяющихся участков временного ряда фигур-аттракторов

На прогнозировании ФВР путем использования характерных повторяющихся участков временного ряда основан метод скользящего или движущегося окна. Повторяющиеся участки временного ряда являются участками самоподобия. Такие участки имеются практически у всех временных рядов. При этом, чем больше длина



Рис. 1. Когнитивная карта для анализа экономической деятельности фирмы

временного ряда, тем больше он имеет участков самоподобия. Повторяющиеся участки временного ряда связаны с наличием хаотической динамики временного ряда. В хаотической динамике их принято называть аттракторами [10]. На фондовой бирже повторяющиеся фигуры ФВР принято называть фигурами технического анализа.

Прогнозирование нестационарных временных рядов методом скользящего окна

Прогнозирование НВР производится следующим образом: 1) выделение участка ФВР в последнем окне; 2) расчет корреляции фигуры в последнем окне и предшествующих участках временного ряда. Блок-схема алгоритма для прогнозирования нестационарных временных рядов методом движущегося окна показана на рис. 2.

В качестве прогнозных значений используются значения временного ряда, следующие непосредственно за областью значений топологически близкого отрезка, то есть для прогноза используется «хвост» близкого отрезка. Если близких отрезков несколько, то для прогнозирования используется среднее арифметическое значений «хвостов» близких отрезков.

Пример использования скользящего окна для прогнозирования производства электрооборудования показан на рис. 3.

Приведем пример вычислительного эксперимента для расчета повторяющихся фигур-аттракторов временного ряда на примере исследования временного ряда стоимости акций ПАО «Сбербанк» для одного из периодов времени. Для временного ряда рассматриваемого периода времени 85 дней характерен растущий тренд. Результаты визуализированы на рис.4.

Приведем перечень фигур, характерных для временного ряда акций ПАО Сбербанк».

Можно заметить, что фигуры 2, 3 и 4 являются составными частями друг друга, в то время как фигуры 1 и 5 являются зеркальным отражением друг друга.

Заключение

Дано описание методов прогнозирования нестационарных временных рядов, основанных на использовании: 1. Трансформерные методы прогнозирования больших временных рядов; 2. Когнитивные методы прогнозирования, основанные на использовании когнитивных карт; 3. Методы прогнозирования на использовании скользящего окна. Приведены примеры прогнозирования нестационарных временных рядов на фондовой бирже.

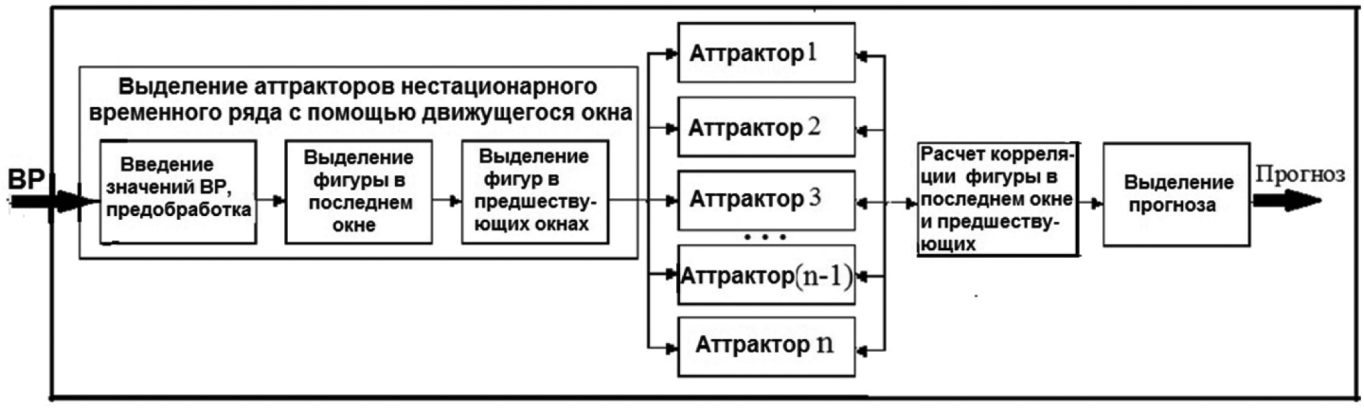


Рис. 2. Блок-схема алгоритма для прогнозирования нестационарных временных рядов методом движущегося окна

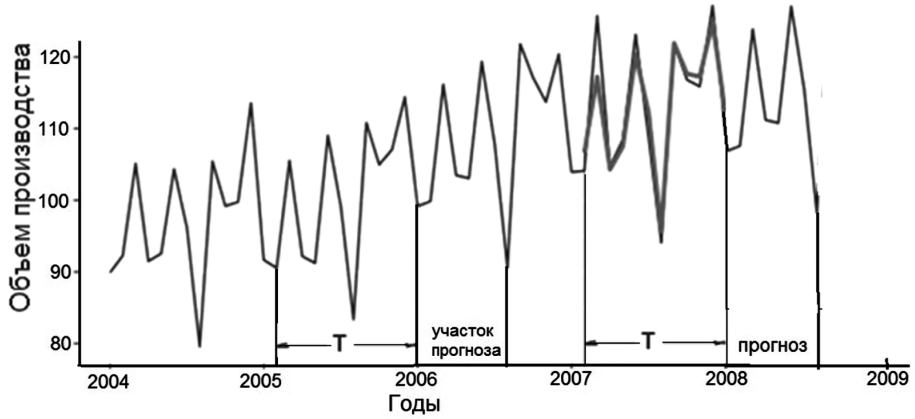


Рис. 3. Пример использования скользящего окна для прогнозирования объема производства электрооборудования

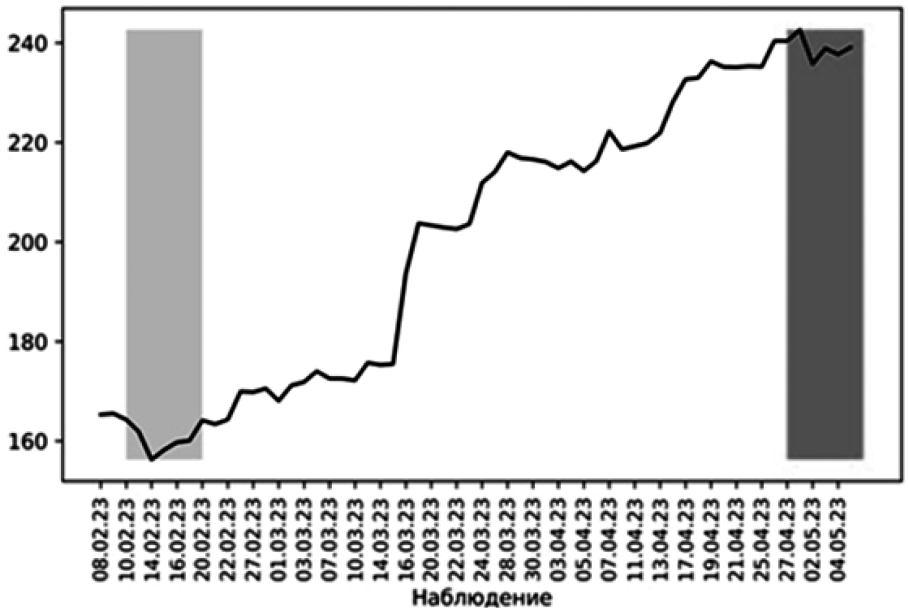


Рис. 4. Темп прироста котировок акций ПАО «Сбербанк», размер скользящего окна 3 дня

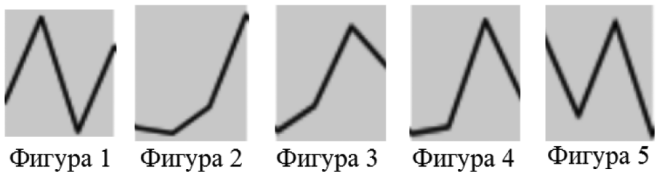


Рис. 5. Перечень фигур, характерных для временного ряда акций ПАО «Сбербанк»

ЛИТЕРАТУРА

1. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Том 2. М.: Юнити-Дана, 2001. 432 с.
2. Hochreiter S., & Schmidhuber J. (1997). Long short-term memory. Neural Computation.
3. Schlag Imanol, Irie Kazuki, Schmidhuber Jürgen . «Linear Transformers Are Secretly Fast Weight Programmers». ICML 2021. Springer. p. 9355–9366
4. Lim B., et al. (2021). Temporal Fusion Transformers for Interpretable Multi-horizon Time Series Forecasting. International Journal of Forecasting.
5. Zhou H., et al. (2021). Informer: Beyond Efficient Transformer for Long Sequence Time-Series Forecasting. Proceedings of AAAI.
6. Wu H., et al. (2021). Autoformer: Decomposition Transformers with Auto-Correlation for Long-Term Series Forecasting. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS).
7. Мазуров М.Е. Идентификация математических моделей нелинейных динамических систем: монография. М.: ЛЕНАНД, 2019. 284 С.
8. Ярушкина Н.Г. Интеллектуальный анализ временных рядов. Учебное пособие. М.: Форум, 2018. 701 с.
9. Бэстенс Д.Э., Берг В.М., Вуд Д. Нейронные сети и финансовые рынки: принятие решений в торговых операциях М.: ТВП, 1997. 236 с.
10. Такенс Ф. Обнаружение странных аттракторов в турбулентности. В Д.А. Рэнд и Янг Л.-С. (ред.). Динамические системы и турбулентность, Конспекты лекций по математике, Springer-Verlag.1981. Т. 898. С. 366–381.

© Мазуров Михаил Ефимович (mazurov37@mail.ru); Слипченко Алексей Вячеславович (alexey.slipchenko@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.35

АРХИТЕКТУРА КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ НА DART ДЛЯ КОЛЛЕКТИВНОГО ОБСУЖДЕНИЯ ПЕШИХ МАРШРУТОВ

ARCHITECTURE OF CLIENT-SERVER INTERACTIONS IN MOBILE APPLICATIONS ON DART FOR COLLECTIVE DISCUSSION OF HIKING ROUTES

M. Mestnikova

Summary. Mobile applications focused on geolocation services and social interaction are becoming more and more in demand in the context of growing interest in an active lifestyle and digital recording of personal routes. Such applications allow users not only to track their own movements, but also to share routes with others, leave comments, share impressions and ratings. However, the development of an architecture capable of effectively supporting these functions in a multi-user environment requires a special approach to choosing a client-server model. To solve this problem, cross-platform development and cloud infrastructure tools have been used to ensure scalability, stability, and convenience of real-time data synchronization.

The Dart language and the Flutter framework were used as the technological basis for creating a mobile client, as well as Firebase cloud services. This architecture allows you to organize a reliable mechanism for publishing and displaying routes, comments, and multimedia content with support for offline access, and push notifications. Integration with Google Maps expands the possibilities of route visualization. The application structure includes modules for managing status, displaying cartographic data, and processing user actions, while synchronization is performed directly with cloud storage.

The developed prototype has passed modular, integration, load and offline testing with positive results. The experience gained demonstrates the practical importance of using architecture to create social geolocation services.

Keywords: mobile applications, deployment diagram, Android Studio, Dart-based development, Firebase.

Местникова Мария Олеговна
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск
nncn1436mestnik@gmail.com

Аннотация. Мобильные приложения, ориентированные на геолокационные сервисы и социальное взаимодействие, становятся все более востребованными в условиях растущего интереса к активному образу жизни и цифровой фиксации личных маршрутов. Такие приложения позволяют пользователям не только отслеживать собственные передвижения, но и делиться маршрутами с другими, оставлять комментарии, обмениваться впечатлениями и оценками. Однако разработка архитектуры, способной эффективно поддерживать эти функции в условиях многопользовательского взаимодействия, требует особого подхода к выбору клиент-серверной модели. Для решения этой задачи применены инструменты кроссплатформенной разработки и облачной инфраструктуры, обеспечивающие масштабируемость, устойчивость и удобство синхронизации данных в реальном времени.

В качестве технологической основы использован язык Dart и фреймворк Flutter для создания мобильного клиента, а также облачные сервисы Firebase. Такая архитектура позволяет организовать надёжный механизм публикации и отображения маршрутов, комментариев и мультимедийного контента с поддержкой офлайн-доступа, и push-уведомлений. Интеграция с Google Maps расширяет возможности визуализации маршрутов. Структура приложения включает модули для управления состоянием, отображения картографических данных и обработки пользовательских действий, при этом синхронизация осуществляется напрямую с облачными хранилищами. Разработанный прототип прошёл модульное, интеграционное, нагрузочное и оффлайн тестирование с положительными результатами. Полученный опыт демонстрирует практическую значимость использования архитектуры для создания социально-геолокационных сервисов.

Ключевые слова: мобильные приложения, диаграмма развертывания, Android Studio, разработка на языке Dart, Firebase.

Актуальность исследования обусловлена ограниченным числом современных мобильных решений, позволяющих пользователям фиксировать посещенные локации в формате визуальных постов. Также введение персональных записей пользователей, которым необходимо не только фиксировать посещенные места, но и прикреплять к ним текстовые описания, изображения и пользовательские оценки.

Объектом исследования выступают технологии мобильной разработки, ориентированные на использование геолокационных сервисов. Предмет исследования — разработка мобильного приложения на языке программирования Dart, предназначенного для создания геозаметок и планирования маршрутов.

Целью исследования является анализ архитектуры клиент-серверного мобильного приложения на Dart

с использованием Firebase, предназначенного для публикации, обсуждения и оценки пеших маршрутов пользователями. Для достижения этой цели в работе решаются следующие задачи:

1. формулировка и обоснование ключевых требований к функционалу мобильного приложения;
2. проектирование архитектуры приложения;
3. реализация рабочего прототипа;
4. проведение тестирования прототипа и анализ его соответствия поставленным требованиям.

Под требованиями к программному обеспечению понимаются функциональные и нефункциональные характеристики, которые должны быть реализованы в системе. Свойства, которыми обладает ПО для актуального определения функций и ограничений действий ПО, а также аппаратного обеспечения и среды разработки. Другими словами, это комплекс существенных свойств ПО [5].

Согласно международному стандарту ISO/IEC TR 19759:2015 (Software Engineering Body of Knowledge), требования к программному обеспечению охватывают весь спектр аспектов, влияющих на его проектирование, разработку и эксплуатацию. В рамках настоящего исследования на основе данного стандарта были определены следующие базовые требования к мобильному приложению:

1. система регистрации и аутентификации пользователей;
2. возможность создания и сохранения маршрутов в пользовательском профиле;
3. просмотр маршрутов других пользователей;
4. система оценки маршрутов (рейтинги, лайки);
5. фильтрация контента по заданным критериям;
6. хранение пользовательских данных и контента на серверной стороне (в облаке).

Архитектура приложения разрабатывалась в соответствии с классической моделью «клиент–сервер», где мобильное приложение выступает в роли клиента, а роль сервера выполняет облачная инфраструктура Firebase. Такой подход позволяет сосредоточить основную логику взаимодействия с пользователем и часть бизнес-логики на стороне мобильного клиента, в то время как хранение данных, синхронизация и авторизация вынесены на облачный бекенд.

Мобильное приложение устанавливает постоянные подключения (listeners) к облачной базе данных Firestore для отслеживания изменений данных в реальном времени. Благодаря этому новый комментарий или оценка маршрута, добавленные одним пользователем, мгновенно становятся видимы другим пользователям в приложении без необходимости вручную обновлять экран. Для обеспечения плавности работы в условиях нестабильного интернета применяются возможности офлайн-режима: локальное кеширование данных на устройстве и последующая синхронизация с облаком при восстановлении соединения [9]. При проектировании архитектуры особое внимание уделялось структурированию системы на модули. Мобильное приложение разделено на слои: презентационный слой, слой управления состоянием и бизнес-логики (например, provider/bloc, для отделения логики от UI) и слой доступа к данным (взаимодействие с API Firebase). Это обеспечивает поддержку принципов разделения ответственности, а хранение данных организовано в облачной NoSQL базе Firestore в виде структурированных документов. В целом, спроектированная архитектура охватывает все аспекты системы — от мобильного UI до облачного хранения и внешних API — и обеспечивает их согласованное взаимодействие.

Для наглядного описания спроектированной архитектуры в статье используется UML-диаграмма (диаграмма развертывания). Основное внимание уделено отображению клиентской и серверной частей, а также связям между ними в условиях облачной инфраструктуры. В качестве клиентской платформы выступают мобильные устройства пользователей. Приложение включает в себя модули пользовательского интерфейса, работы с геолокацией, управления состоянием, а также компоненты для взаимодействия с облачными сервисами через SDK Firebase. Серверная часть приложения представлена полностью облачной инфраструктурой Firebase, что отражает модель Backend-as-a-Service (BaaS).

Все клиентские устройства взаимодействуют с облачными сервисами по защищенным каналам связи (HTTPS), используя официальные SDK. Таким образом, архитектура исключает необходимость в собственных серверных мощностях и минимизирует затраты на инфраструктуру.

Диаграмма развертывания демонстрирует логическую связность между компонентами, что обеспечивает понимание того, где именно развернуты модули приложения и как они обмениваются данными.

Прототип приложения реализован с использованием языка Dart и фреймворка Flutter, что обеспечило запуск приложения на устройствах Android и iOS без изменения исходного кода. В процессе разработки использовался подход непрерывной интеграции Flutter с сервисами Firebase. Ниже перечислены основные технологии и решения, примененные при создании прототипа:

Firebase Cloud Firestore — облачная NoSQL база данных, выступающая в роли хранилища данных приложения. В Firestore были созданы коллекции для основных сущностей: сохраняются данные о каждом опубликованном маршруте, комментарии, пользователи. Такая

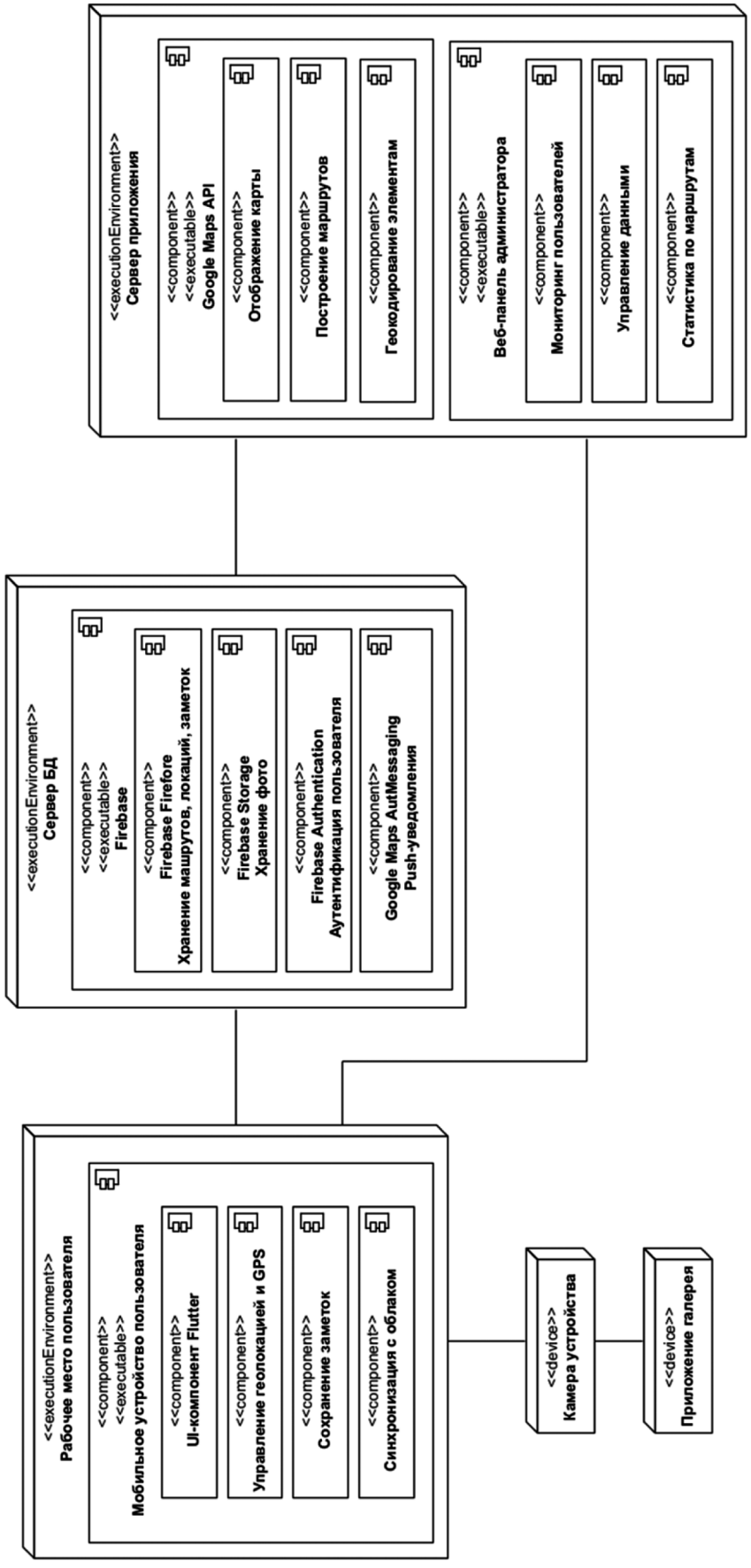


Рис. 1. Диаграмма развертывания

структура позволяет быстро выполнять запросы для получения всех комментариев к данному маршруту или всех маршрутов, опубликованные определенным пользователем. Firestore автоматически индексирует данные и поддерживает поиск с фильтрацией, что пригодилось для реализации функции поиска маршрутов по названию или тегам. Все операции с базой, а именно создание нового маршрута, добавление комментария, обновление рейтинга, выполняются напрямую с мобильного клиента через SDK Firebase, с мгновенной синхронизацией и локальным кешированием.

Firebase Storage — облачное хранилище файлов, интегрированное в приложение для работы с фотографиями. Маршруты прогулок зачастую сопровождаются фотографиями мест, картосхемами или треками в формате GPX (GPS eXchange Format)— эти данные сохраняются в Firebase Storage, а в документы Firestore заносятся только ссылки на соответствующие файлы. В прототипе реализована возможность прикреплять фото к маршруту: при публикации маршрута выбранное изображение загружается из памяти устройства или камеры и отправляется в Storage, после чего URL (Uniform Resource Locator) сохраненного файла автоматически добавляется в запись маршрута в Firestore. Такая схема разгружает базу данных и оптимизирует трафик, позволяя при загрузке ленты маршрутов сначала получать текстовую информацию, а изображения подгружать по ссылкам по мере необходимости.

Firebase Authentication — модуль аутентификации Firebase, отвечающий за регистрацию и вход пользователей. В приложении реализована система учетных записей: новый пользователь может создать аккаунт (с использованием email/пароля). Firebase Auth берет на себя хранение учетных записей и проверку входа, возвращая уникальный идентификатор пользователя (uid — unique identifier), который используется как ключ при привязке данных (например, маршрут содержит uid автора). Также настроены правила безопасности Firestore, привязывающие права доступа к uid пользователя: в результате каждый пользователь может редактировать или удалять только собственные маршруты и комментарии. Благодаря готовым решениям Firebase процесс управления пользователями в прототипе сводится к вызовам функций SDK (регистрация, логин, выход) [10].

Firebase Cloud Messaging (FCM) — сервис отправки push-уведомлений. Он используется для обеспечения обратной связи: приложение рассылает уведомления, когда происходят важные события, связанные с маршрутами. В прототипе настроены уведомления о новых комментариях: автор маршрута получит push-уведомление на устройство, если кто-то прокомментировал его запись; аналогично, комментарии в ответ могут генерировать уведомления для их автора. Технически это реализовано следующим образом: приложение при входе пользователя регистрирует токен устройства в FCM; при добавлении нового комментария в Firestore срабатывает облачная функция Firebase, которая формирует и отправляет уведомление через FCM нужному адресату (по токену). В результате пользователи оперативно получают оповещения, даже если приложение свернуто. Помимо комментариев, в будущем можно задействовать FCM и для других типов уведомлений — например, еженедельная подборка новых популярных маршрутов или оповещение друзей о том, что пользователь опубликовал новый маршрут [11].

Интеграция с Google Maps API. Поскольку основная тема приложения — географические маршруты, прототип интегрирован с картографическим сервисом для отображения маршрутов на карте. Использован пакет Google Maps API для Flutter (плагин, предоставляющий виджет карты и доступ к функциям Google Maps). При просмотре детали маршрута пользователь видит встроенную карту, на которой проложен трек прогулки (маркером отмечается старт и финиш, линия маршрута наносится по координатам). Для этого географические данные маршрутов (набор точек GPS) хранятся в Firestore, а при загрузке экрана маршрута эти данные передаются виджету карты. Кроме того, Google Maps API используется для геокодирования, то есть определяет координаты по заданному адресу или названию места, если пользователь при добавлении маршрута вводит текстовое описание начала маршрута. В прототипе показана базовая функциональность работы с картой; она подтверждает, что архитектура поддерживает подключение стороннего API и обработку связанных с ним данных.

На уровне клиентского приложения реализован полноценный интерфейс, включающий основные экраны: лента опубликованных маршрутов (с возможность фильтрации и поиска), экран создания нового маршрута, экран просмотра маршрута, экран профиля пользователя, форма входа и регистрации. Для навигации по приложению использован встроенный механизм маршрутизации Flutter (Navigator). Чтобы обеспечить интерактивность интерфейса при изменении данных, применены состояния и виджеты, подписанные на потоки данных Firestore (через StreamBuilder). Управление состоянием (state management) организовано с помощью Provider — этот подход позволил вынести бизнес-логику в отдельные провайдеры и ViewModel, которые взаимодействуют с репозиториями данных (Firebase). Таким образом, при реализации прототипа были соблюдены принципы, заложенные на этапе проектирования архитектуры: четкое разделение интерфейса, логики и доступа к данным, а также слабая связанность компонентов, что облегчает поддержку и масштабирование кода.

Средства разработки и инструменты. Прототип создавался с использованием официального SDK Flutter

и FlutterFire. В среде разработки (IDE Android Studio/ Visual Studio Code) настроена непрерывная сборка и отладка на устройствах-эмуляторах. Firebase проект настроен в режиме тестирования (эмуляторы Firebase использовались для прогона тестов). Код прототипа структурирован согласно принятым практикам. Для контроля версий использовался Git, что также способствовало отслеживанию изменений архитектуры в ходе итеративной доработки.

После разработки прототипа была проведена серия тестирований с целью проверки качества архитектуры и выявления возможных проблем. Тестирование носило поэтапный характер, охватывая разные уровни и аспекты системы. На первом этапе были написаны и выполнены модульные тесты для отдельных функций и компонентов клиентского приложения. Тестировались, в частности, утилиты обработки данных (корректность вычисления длины маршрута по списку координат, форматы дат и времени в комментариях). Результаты модульного тестирования показали корректность ключевых алгоритмов и методов: все проверочные сценарии прошли успешно, обнаружены и исправлены лишь незначительные ошибки, связанные с валидацией полей ввода (например, недопустимо пустое название маршрута).

Далее проводилось интеграционное тестирование, фокусирующееся на взаимодействии мобильного приложения с облачным бекендом Firebase. В специальной тестовой среде были развернуты Firebase Emulators, что позволило имитировать работу Firestore. Тестовые сценарии охватили типичные случаи: регистрация и вход пользователя, публикация маршрута, загрузка списка маршрутов из базы, добавление комментария и получение уведомления. Автоматические интеграционные тесты запускали приложение, выполняли описанные действия и проверяли ожидаемый результат (например, после добавления маршрута — количество документов в коллекции маршрутов увеличилось; при неавторизованном запросе к защищенной коллекции — получен отказ доступа). В результате было подтверждено, что все компоненты системы правильно связаны: данные успешно передаются от клиента к серверу и обратно, права доступа соблюдаются.

Отдельно проверялась способность приложения работать при отсутствии интернет-соединения и после его восстановления. Для этого на устройстве-тесте имитировалось отключение сети: пользователь пытался открыть ранее загруженные маршруты (они должны отображаться за счет кеша Firestore), благодаря офлайн-поддержке Firestore, приложение позволяет читать уже кеширован-

```
{
  TestWidgetsFlutterBinding.ensureInitialized();
  test('', () async {
    final routes = FirebaseFirestore.instance.collection('routes');
    for (int i = 0; i < 100; i++) {
      await routes.add({
        'title': 'Route $i',
        'description': 'Load testing route $i',
        'author': 'tester',
        'points': List.generate(10, (index) => {
              'lat': 55.7 + Random().nextDouble() / 100,
              'lon': 37.6 + Random().nextDouble() / 100,
            }),
      });
    }
    final count = (await routes.get()).docs.length;
    expect(count, greaterThanOrEqualTo(100));
  });
}
```

Рис. 2. Код модульного тестирования логики расчета маршрута

```
{
  IntegrationTestWidgetsFlutterBinding.ensureInitialized();
  testWidgets('', (WidgetTester tester) async {
    app.main();
    await tester.pumpAndSettle();
    await FirebaseAuth.instance.createUserWithEmailAndPassword(
      email: "test1@gmail.com",
      password: "qwer123",
    );
    await tester.pumpAndSettle();
    expect(find.text('Create Route'), findsOneWidget);
  });
}
```

Рис. 3. Код интеграционного тестирования регистрации и экрана создания маршрута

```
void offline() async {
  TestWidgetsFlutterBinding.ensureInitialized();
  await Firebase.initializeApp();
  test('', () async {
    FirebaseFirestore.instance.settings = const Settings(
      persistenceEnabled: true,
    );
    final commentsRef = FirebaseFirestore.instance.collection('comments');
    final localDoc = await commentsRef.add({
      "text": "Offline comment",
      "routeId": "offline_route_test",
    });
    expect(localDoc.id, isNotNull);
  });
}
```

Рис. 4. Код проверки сохранения комментария в офлайн-режиме

```
{
  TestWidgetsFlutterBinding.ensureInitialized();
  test('', () async {
    final routes = FirebaseFirestore.instance.collection('routes');
    for (int i = 0; i < 100; i++) {
      await routes.add({
        'title': 'Route $i',
        'description': 'Load testing route $i',
        'author': 'tester',
        'points': List.generate(10, (index) => {
              'lat': 55.7 + Random().nextDouble() / 100,
              'lon': 37.6 + Random().nextDouble() / 100,
            }),
      });
    }
    final count = (await routes.get()).docs.length;
    expect(count, greaterThanOrEqualTo(100));
  });
}
```

Рис. 5. Код нагрузочного тестирования с генерацией 100 маршрутов

ные данные. После подключения к интернету приложение автоматически синхронизировало изменения с сервером — отложенный комментарий успешно появился в облаке и стал виден другим пользователям. Этот тест подтвердил правильность архитектурного решения использовать Firestore с его встроенными возможностями офлайн-доступа: пользователи приложения не остаются «отрезанными» от информации во время временного отсутствия сети.

Для оценки масштабируемости архитектуры была проведена имитация нагрузки: с помощью скриптов и инструментов тестирования Firebase были сгенерированы десятки тестовых пользователей и сотни виртуальных маршрутов и комментариев. Необходимо проверить, как система справляется с возросшим объемом данных и множеством одновременных действий. Метрики, собранные в Firebase (например, время ответа на запрос к базе, задержка доставки уведомлений), оставались в пределах нормы при умеренной нагрузке. Приложение на стороне клиента также продолжило работать без заметного ухудшения производительности: лента маршрутов прокручивалась плавно, время загрузки данных не превысило нескольких секунд даже при заполненной базе. Конечно, полноценное тестирование на экстремальных объемах данных выходит за рамки прототипа, однако проведенные испытания показали, что выбранная архитектура обладает резервом масштабирования. Добавление новых пользователей или контента линейно увеличивает нагрузку, с которой Firebase-сервисы способны автоматически справляться за счет внутреннего масштабирования. Таким образом, прототип подтвердил свою работоспособность и устойчивость в приближенных к реальным условиям эксплуатации.

В результате проделанной работы имеется прототип мобильного приложения, который представлен на рисунке 6.

Заключение

В ходе выполнения работы разработан и исследован прототип мобильного приложения, предназначенного для коллективного обсуждения пеших маршрутов. Предложенная архитектура клиент-серверных взаимодействий продемонстрировала свою эффективность: она обеспечила оперативный обмен данными между пользователями в реальном времени, поддержку офлайн-режима и гибкое масштабирование под рост аудитории. За счет использования Flutter удалось значительно сократить время разработки интерфейса для разных платформ. Научная значимость работы заключается



Рис. 6. Пользовательский интерфейс

в обобщении опыта построения распределенных мобильных приложений на основе современных технологий кроссплатформенной разработки и облачных сервисов. В статье продемонстрировано, как сочетание Flutter и Firebase может быть использовано для решения задач социального взаимодействия пользователей, требующих надежной синхронизации и хранения данных.

Разработанная архитектура и диаграммы могут служить ориентиром для системных архитекторов и исследователей, занимающихся проектированием социальных мобильных сервисов на сходных технологических стеках. Практическая значимость проекта выражается в том, что созданный прототип может послужить основой для реального приложения, полезного сообществу любителей пеших прогулок. Архитектура уже прошла первичную проверку тестированием, что снижает риски при дальнейшем внедрении. Результаты нагрузки указывают, что приложение сможет обслуживать растущее число пользователей без ухудшения качества сервиса, что важно для любого социального продукта. Предложенные решения по интеграции геолокационных сервисов (Google Maps) расширяют пользовательский опыт, позволяя визуализировать маршруты и тем самым повышать наглядность и ценность публикуемой информации.

В дальнейшем планируется развивать проект в нескольких направлениях. Во-первых, расширение функциональности приложения: добавление новых социальных возможностей (система друзей, совместное планирование прогулок), внедрение рейтинговой системы и алгоритмов рекомендаций маршрутов на основе предпочтений пользователя. Во-вторых, усиление аналитической составляющей: разработка административной вебпанели для модерации контента, отслеживания активности пользователей и сбора статистики по популярности маршрутов. В-третьих, проведение более детального нагрузочного тестирования: с ростом базы данных может понадобиться оптимизация структуры хранилища или использовать кеширование на стороне клиента более активно. Подводя итог, разработанная архитектура показала свою жизнеспособность и соответствие поставленной задаче. Она сочетает научную новизну и практическую полезность. Дальнейшая работа над проектом будет направлена на превращение прототипа в полнофункциональное приложение, а также на исследование полученных данных использования для постоянного совершенствования архитектурных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дейтел П. Android для программистов: учебное пособие / П. Дейтел, Х. Дейтел, М. Морган. — Санкт-Петербург: Питер, 2013. — 557 с.
2. Голощапов А.Л. Google Android: книга / А.Л. Голощапов — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2013. — 268 с.
3. Мартин Р. Чистый Код: учебное пособие / Р. Мартин — Санкт-Петербург: Питер, 2013. — 590 с.
4. Анализ требований к программному обеспечению с примерами. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.webursitet.ru/article/chto-takoe-trebovaniya-k-programmnomu-produktu.html (дата обращения 29.12.2024)
5. Области знаний программной инженерии и стандарты ЖЦ программного обеспечения — Текст: электронный // Интуит, Национальный открытый университет. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://intuit.ru/studies/courses/2190/237/lecture/6118
6. Спецификация формата GeoJSON. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://gis-lab.info/docs/geojson_ru.html (дата обращения 11.01.2025)
7. Фаронов В.А. Программирование на языке высокого уровня: учебное пособие /В.А. Фаронов. — Издательство: Питер, 2006. — 640 с.
8. Советов Б.Я. Моделирование систем: учебное пособие / Б.Я. Советов — Москва: Вильямс, 2006. — 340 с.
9. Chatterjee N. Real-time Communication Application Based on Android Using Google Firebase // Computer Science and Management Studies / Nilanjan Chatterjee, Souvik Chakraborty, Aakash Decosta, Asoke Nath — 2018. — №6 (4). — С. 74–79 / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/324840628_Real-time_Communication_Application_Based_on_Android_Using_Google_Firebase (дата обращения 17.03.2025)
10. Moroney L. Using Authentication in Firebase // The Definitive Guide to Firebase / Laurence Moroney — 2017. — С. 25–50 / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4842-2943-9_2 (дата обращения 20.03.2025)
11. Khawas C. Application of Firebase in Android App Development-A Study / Chunnu Khawas, Pritam Shah — 2018. — №179(46) — С. 49–53 / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/325791990_Application_of_Firebase_in_Android_App_Development-A_Study (дата обращения 28.03.2025)
12. Silva R. Development and Evaluation of a Mobile Application with Augmented Reality for Guiding Visitors on Hiking Trails / Rute Silva, Rui Jesus, Pedro Jorge — 2023. — №6 — С. 58 / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.mdpi.com/2414-4088/7/6/58 (дата обращения 03.04.2025)

© Местникова Мария Олеговна (nncn1436mestnik@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.37

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУР ДИНАМИЧЕСКИХ GNN ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВРЕМЕННЫХ ГРАФОВ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРЫ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

DEVELOPMENT OF DYNAMIC GNN ARCHITECTURES FOR MODELING THE EVOLUTION OF SOCIAL NETWORKS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR PROCESSING TEMPORAL GRAPHS OF STRUCTURAL CHANGES IN SOCIAL NETWORKS IN REAL TIME

V. Popov

Summary. Social networks represent complex dynamic systems where connections between users and entities (posts, comments, communities) change in real time. Modeling such temporal structures for further analysis using classical mathematical modeling methods is challenging due to high dimensionality and the need to account for data additivity. Traditional graph neural networks (GNN — Graph Neural Network) demonstrate high efficiency in analyzing static graphs; however, their application is limited when working with temporal data that requires adaptation to changes in graph structure. This article examines modern approaches to the development of dynamic GNNs capable of modeling changes in social networks while considering temporal patterns. An architecture combining recurrent mechanisms and neighbor aggregation is proposed for processing streaming data. A comparative analysis of classical GNN and dynamic GNN (DGNN — Dynamic Graph Neural Network) modeling methods is conducted, with emphasis on their applicability in trend forecasting, community detection, and anomaly identification. Experiments on publicly available Twitter datasets show that dynamic GNNs achieve 8–10% higher accuracy compared to their static counterparts. Particular attention is paid to issues of scalability, privacy, and model interpretability. The research findings can be applied to develop secure and adaptive algorithms for real-time analysis of social networks.

Keywords: dynamic graph neural networks, temporal graphs, GNN, evolution modeling, real-time data processing, scalability, interpretability, DGNN, trend forecasting, community detection.

Попов Валерий Владиславович
Аспирант, Российский Технологический Университет МИРЭА
popov.v.v.v.v.p@gmail.com

Аннотация. Социальные сети представляют собой сложные динамические системы, где связи между пользователями и сущностями (посты, комментарии, сообщества) изменяются в реальном времени. Моделирование подобных временных структур, с целью дальнейшего анализа, с помощью классических методов математического моделирования затруднительно ввиду высокой размерности и необходимости учета аддитивности данных. Традиционные же графовые нейронные сети (GNN — Graph Neural Network) демонстрируют высокую эффективность в анализе статических графов [1–3], однако их применение ограничено при работе с временными данными, требующими адаптации к эволюции структуры графа. В статье рассматриваются современные подходы к разработке динамических GNN, способных моделировать изменения в социальных сетях с учетом временных паттернов. Предложена архитектура, сочетающая рекуррентные механизмы и агрегацию соседей для обработки потоковых данных. Проведен сравнительный анализ методов классического GNN моделирования и динамического GNN (DGNN — Dynamic Graph Neural Network) моделирования, с акцентом на их применимость в задачах прогнозирования трендов, выявления сообществ и обнаружения аномалий. Эксперименты на реальных открытых данных Twitter, показали, что динамические GNN обеспечивают на 5–10 % более высокую точность по сравнению с статическими аналогами. Особое внимание уделено проблемам масштабируемости, приватности и интерпретируемости моделей. Результаты исследования могут быть использованы для создания безопасных и адаптивных алгоритмов анализа социальных сетей в реальном времени.

Ключевые слова: динамические графовые нейронные сети, временные графы, GNN, моделирование эволюции, обработка данных в реальном времени, масштабируемость, интерпретируемость, DGNN, прогнозирование трендов, выявление сообществ.

Введение

Социальные сети стали неотъемлемой частью цифровой экосистемы, генерируя огромные объемы данных с временной динамикой. Ежедневно тысячи пользователей используют социальные сети в различных аспектах, от простого общения друг с другом, до создания новостных групп или групп по интересам, работы и учебы. Традиционные методы анализа подобных динамических систем, такие как статистические модели, математические модели основанные на численных методах оптимизации сложных систем дифференциальных уравнений и дифференциальных уравнений в частных производных, не справляются с подобными задачами ввиду высокой размерности данных, нелинейности связей и высокой динамики изменения структуры такой системы. Для решения подобной области задач существуют классические GNN (Graph Neural Network), которые не учитывают эволюцию связей, вследствие чего снижается их эффективность.

Для решения подобных задач существует возможность использовать DGNN (Dynamic Graph Neural Network), которая позволяют моделировать изменения в графах, сохраняя контекстуальную информацию о прошлых состояниях.

Цель данной работы — разработать архитектуру DGNN, способную адаптироваться к изменениям структуры социальных сетей в реальном времени, и исследовать ее применимость в задачах анализа данных.

Обзор существующих методов

1. Статические GNN

К классу статических GNN подходов анализа можно отнести таким архитектуры сетей, как сверточные графовые нейронные сети, или GCN (Graph Convolutional Network) и графовые нейронные сети с механизмом самовнимания, или GAT (Graph Attention Network). Такие нейронные сети предназначены для анализа графовых данных, имеющих постоянные связи и не изменяемых с течением времени. В связи с этим они не подходят для обработки данных в реальном времени, ввиду изменения структуры связей данных, что может привести к потере важных признаков, или поиску связей там, где они отсутствуют, что может повлечь за собой неправильный результат или поспособствовать переобучению модели.

2. Динамические GNN

Для решения проблемы изменения связей между объектами необходимо производить обучение моделей на временных состояниях связей и узлов графа [4–7]. Подобный механизм применяется в структурах связанных с динамическими GNN. Примерами таких архитектур являются:

- DYN-GNN — используют рекуррентные механизмы, например Long Short Term Memory (LSTM) для обработки временных графов. Таким образом они учитывают предыдущие состояния графа для определения следующего состояния;
- TGAT (Temporal Graph Attention Network) — вид архитектуры, где реализован механизм внимания на временные связи между узлами. Таким образом предсказание состояния каждого узла строится с учетом временных связей, их появлениями и исчезновениями.

3. Проблемы существующих подходов

При имеющихся достоинствах, такие нейронные сети имеют свой ряд недостатков:

- Масштабируемость — чем больше граф и чем больше в нем связей, тем сложнее обрабатывать связи в данных. Также чем больше граф, тем больше в нем связей, которые необходимо учитывать при обучении и построении прогноза. Но не все важные связи могут быть учтены.
- Ограниченная интерпретируемость решений характеризуется тем, что обработка графа является сложной задачей, и нейронная сеть не предоставляет механизмов и сэмплов данных, на основе которых был сделан прогноз.

Методология

1. Формальная модель динамического графа

Граф $G(t) = (V(t), E(t))$, где $V(t)$ и $E(t)$ — узлы и рёбра в момент времени t. Динамика такой системы описывается, как следующая последовательность событий $\{e_1, e_2, \ldots, e_n\}$, в которой каждое событие e_i изменяет структуру графа путем добавления или удаления ребер между узлами, или самих узлов.

2. Архитектура динамической GNN

На основании данных архитектура модели должна состоять из нескольких компонент, которые способствуют правильности предсказываемого значения. Модуль временной агрегации необходим для кодирования историчности узлов и связей, чтобы учитывать изменения не только на текущем и предыдущем временном состоянии, но и на протяжении всей жизни графа. Обычно для решения такой задачи используется решения, основанные на LSTM [8].

Механизм внимания позволяет управлять весами модели, которые могут интерпретироваться как степень влияния связанных узлов друг на друга. Процедура взве-

шивания соседей позволяет управлять силами их взаимодействия друг с другом на основе временной близости, то есть чем ближе сосед по времени к текущему узлу, тем больше влияния он имеет на предсказываемое состояние рассматриваемого узла.

Для повышения масштабирования на больших графах и обработки долгих цепочек событий предусматривается механизм обновления графа. Такой подход позволяет обновлять структуру графа относительно временной шкалы, без необходимости полного его перестроения и значительно экономит ресурсы в процессе обучения.

Математически это имеет следующее обоснование:

$$h_v^{(t)} = \sigma\left(W^{(t)} \cdot AGG\left(\left\{h_v^{(t-\Delta t)} : u \in N(v)\right\} \cup \left\{h_v^{(t-\Delta t)}\right\}\right)\right)$$

где Δt — смещение по времени относительно предсказываемого момента времени, σ — функция активации нейронов, $W^{(t)}$ — матрица весов, отражающая влияние соседей на состояние предсказываемого узла, AGG — некоторая агрегирующая функция, например сумма, среднее или максимальное из подмножества соседей и предыдущего состояния узла.

Таким образом предсказываемое состояние узла учитывает временные связи, их наличие или отсутствие, а также коэффициенты влияния соседей на итоговое значение.

Эксперименты

В качестве экспериментальных данных был взят открытый датасет от Twitter состоящий из 1.6 миллионов твитов разных пользователей. Основной целью является классификация поста в зависимости от его содержимого по стилистической окраске текста на нейтральный, позитивный или негативный.

Сравнительный анализ статической GNN, в частности архитектуры реализующей сверточную графовую нейронную сеть, или GCN (Graph Convolutional Network) и динамическую графовую нейронную сеть T-GAT (Temporal Graph Attention Network) поводился на метриках точности (Accuracy) и F1-меры (F1-Score), учитывающей несбалансированность классов. По итогам тестов получены следующие показатели исследуемых моделей:

Таблица 1.

Результаты сравнительной характеристики

Модель	Accuracy	F-1 Score
GCN	0.82	0.79
T-GAT	0.87	0.84

Предложенная модель динамической графовой нейронной сети превзошла статическую GCN на 5 % по точности и F1-мере.

Такой результат получен ввиду того, что статические модели не учитывают временные зависимости и последовательности. Также стоит отметить, что в случае статических моделей, чем выше размерность графа данных, тем больше ресурсов необходимо на его обработку, из-за чего возникает проблема масштабируемости, которую в свою очередь решают динамические виды графовых нейронных сетей.

Преимущества и недостатки динамических GNN

В качестве преимуществ динамических моделей можно отметить адаптивность к изменениям внутри моделируемой динамической системы, ввиду обработки временных меток и коррекции весов на их основе [9]. Также такие нейронные сети в некотором роде решают проблему масштабируемости, с которой сталкиваются статические виды GNN [10].

Из недостатков таких сетей, можно отметить сильную зависимость на качество временных меток, то есть чем выше гранулярность временных меток в данных, тем более ресурсоемкими будут вычисления, в то время как при низкой гранулярности, точность прогнозирования будет значительно ниже. Другим немаловажным ограничением является выбор обучающих сэмплов, или подграфов, на основе которых будет производиться обучение модели, поскольку это такая же ресурсоемкая процедура, при неправильном выборе которой могут быть потеряны важные зависимости между соседями, или выбраны зависимости, которых на текущий момент уже не существует.

Заключение

Таким образом, предложенная архитектура динамических графовых нейронных сетей позволила обработать большой граф данных, при этом учитывая пространственно-временные связи между соседями, что повлияло на повышение точности предсказания, относительно своего статического аналога.

Для решения аналогичной задачи классическими статистическими методами и методами математического моделированием ушло бы значительно больше времени, поскольку подобная динамическая система имеет большую размерность и огромное количество пространственно-временных связей, которые дополнительно изменяются с течением времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gromozdov D.R. Graph Convolutional Neural Network Model Robustness under New Data Provisioning / D.R. Gromozdov // Science, Engineering and Business: Conference Proceedings of the VI Interacademic conference for graduate students and young researchers, Moscow, 16–18 April 2024. — Moscow: Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2024. — P. 116–123. — EDN MAMBLM.
2. Лунева Е.Е. Графовые нейронные сети в задачах продленной аутентификации групповых профилей социальных сетей / Е. Е. Лунева, П. И. Банокин // System Analysis and Mathematical Modeling. — 2024. — Vol. 6, № 3. — С. 300–311. — DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(3).300-311. — EDN LAQQHA.
3. A study of graph neural networks for link prediction on vulnerability to membership attacks / D.S. Shaikhelislamov, K. Lukyanov, N.N. Severin [et al.] // Записки научных семинаров Санкт-Петербургского отделения математического института им. В.А. Стеклова РАН. — 2023. — Т. 530. — С. 113–127. — EDN VLFVUM.
4. Козлов М.В. Возможности использования графовых нейронных сетей как интеллектуальных помощников при построении динамических когнитивных карт / М.В. Козлов, А.В. Михеев, М.П. Дьякович // Современные технологии и научно-технический прогресс. — 2024. — № 11. — С. 137–139. — EDN APHCJJ.
5. Лыченко Н.М. Модели прогноза качества воздуха на основе методов машинного обучения с учетом временных и пространственных зависимостей / Н.М. Лыченко // Проблемы автоматики и управления. — 2024. — № 3(51). — С. 136–145. — EDN PJSEPL.
6. Predicting epidemic threshold in complex networks by graph neural network / Wu Wang, C. Li, Bo Qu, X. Li // Chaos (Woodbury, N.Y.). — 2024. — Vol. 34, No. 6. — DOI 10.1063/5.0209912. — EDN ELLMMZ.
7. Sighencea B.I. D-STGCN: Dynamic Pedestrian Trajectory Prediction Using Spatio-Temporal Graph Convolutional Networks / B.I. Sighencea, I.R. Stanciu, C.D. Căleanu // Electronics. — 2023. — Vol. 12, No. 3. — P. 611. — DOI 10.3390/electronics12030611. — EDN DWYGVF.
8. DGA-GNN: Dynamic Grouping Aggregation GNN for Fraud Detection / M. Duan, T. Zheng, Ya. Gao [et al.] // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. — 2024. — Vol. 38, No. 10. — P. 11820–11828. — DOI 10.1609/aaai. v38i10.29067. — EDN DNHXVO.
9. Ван Ц. Дополненная внимательная GNN для извлечения связей / Ц. Ван // МНСК-2022: Материалы 60-й Международной научной студенческой конференции, Новосибирск, 10–20 апреля 2022 года. — Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2022. — С. 192. — EDN ZAKDTA.
10. Romanova A. Enhancing NLP through GNN-Driven Knowledge Graph Rewiring and Document Classification / A. Romanova // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. — 2024. — No. 35. — P. 579–587. — EDN RBVSSL.

© Попов Валерий Владиславович (popov.v.v.v.v.p@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.41

АЛГОРИТМ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕРКИ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ТРУБ

ALGORITHM OF THE EXPERT SYSTEM FOR QUALITY CONTROL OF STEEL PIPE MANUFACTURING

S. Skibin

Summary. This article addresses the issue of improving quality control efficiency in steel pipe production, which is currently hindered by a fragmented approach to quality assurance at different stages of production. This approach complicates the formation of a holistic view of the product quality and leads to increased time and labor costs due to the necessity of manual inspections. To address this problem, an algorithm was developed to automate the quality control process, integrating all stages of production. The algorithm reduces the time required for inspections and enhances the accuracy of quality assessment. The effectiveness evaluation of the algorithm's implementation demonstrated a significant reduction in inspection time and a 21.3 % improvement in labor productivity. This indicates a positive impact of automating the quality control process and opens opportunities for further improvement and optimization of steel pipe production.

Keywords: quality, quality control, steel pipes, algorithm, automation, production process, labor productivity, time costs, optimization.

Скибин Станислав Алексеевич
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
1376746@bsuedu.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения эффективности контроля качества при производстве стальных труб, связанная с фрагментированным подходом к обеспечению качества на отдельных этапах производства. Этот подход осложняет получение целостного представления о качестве продукции, а также приводит к увеличению временных затрат и трудоёмкости из-за необходимости проведения ручных проверок. В связи с этим был предложен и разработан алгоритм, который автоматизирует процесс проверки качества, обеспечивая интеграцию всех этапов производства. Алгоритм позволяет сократить время, необходимое для проведения контроля, и повысить точность оценки качества продукции. Оценка эффективности внедрения алгоритма показала значительное сокращение времени выполнения проверок и повышение производительности труда на 21,3 %. Это свидетельствует о положительном эффекте от автоматизации процесса контроля качества и открывает возможности для дальнейшего улучшения и оптимизации производства стальных труб.

Ключевые слова: качество, контроль качества, стальные трубы, алгоритм, автоматизация, производственный процесс, производительность труда, временные затраты, оптимизация.

Введение

На современном этапе организации трубопрокатного производства характерен фрагментированный подход к обеспечению качества: каждый участок отвечает за параметры продукции исключительно в пределах своей технологической операции. Такая модель управления затрудняет формирование целостного представления о качестве изделия на всём производственном маршруте. Более того, ряд дефектов — в частности, внутренние повреждения и микротрещины — остаются незамеченными до заключительных этапов контроля. В результате значительно возрастает нагрузка на специалистов по качеству, которым приходится проводить детальные ручные проверки, сопряжённые с высокой трудоёмкостью и временными затратами. Это, в свою очередь, увеличивает продолжительность производственного цикла и снижает объективность оценки [5, с. 305].

Дополнительно, отсутствие единой цифровой платформы, объединяющей производственные звенья, снижает скорость обработки информации и затрудняет оперативное выявление причин отклонений. Учитывая высокую стоимость трубной продукции и её применение в технологически ответственных секторах — таких как нефтегазовая и энергетическая промышленность — возрастает потребность в точных и своевременных методах контроля. В связи с этим становится актуальной разработка инструментов, обеспечивающих непрерывную и комплексную оценку качества на всех этапах изготовления [2, с. 111].

Объектом исследования является процесс проверки качества изготовления стальных труб.

Предметом исследования алгоритм экспертной системы проверки качества изготовления стальных труб.

Цель исследования заключается в уменьшении временных затрат на процессы контроля качества при производстве стальных труб.

Материалы и методы

В ходе исследования был реализован алгоритм проверки качества изготовления стальных труб, направлен-

ный на устранение недостатков существующей системы контроля.

Актуальность разработки обусловлена необходимостью повышения оперативности, объективности и достоверности оценки качества продукции в условиях трубопрокатного производства. Проведённый анализ показал, что действующие подходы, базирующиеся преимущественно на ручной проверке и децентрализованной ответственности, не обеспечивают должной эффективности в условиях современного производства и цифровой трансформации.

В рамках поставленных задач был сформирован алгоритм (рис. 1), позволяющий систематизировать процедуру контроля качества на всех этапах производственного цикла. Данный алгоритм охватывает как входной контроль документации, так и техническую проверку геометрических и механических характеристик труб, а также автоматизирует принятие решений по результатам испытаний. Особенностью предложенного подхода является интеграция экспертной системы, использующей предопределённые правила и накопленные данные для вынесения заключений о соответствии продукции установленным требованиям.

Применение разработанного алгоритма способствует снижению вероятности пропуска дефектов, уменьшению времени на проведение контрольных операций и повышению прозрачности процессов. Кроме того, созданная система может быть адаптирована под различные типы трубной продукции и расширена за счёт

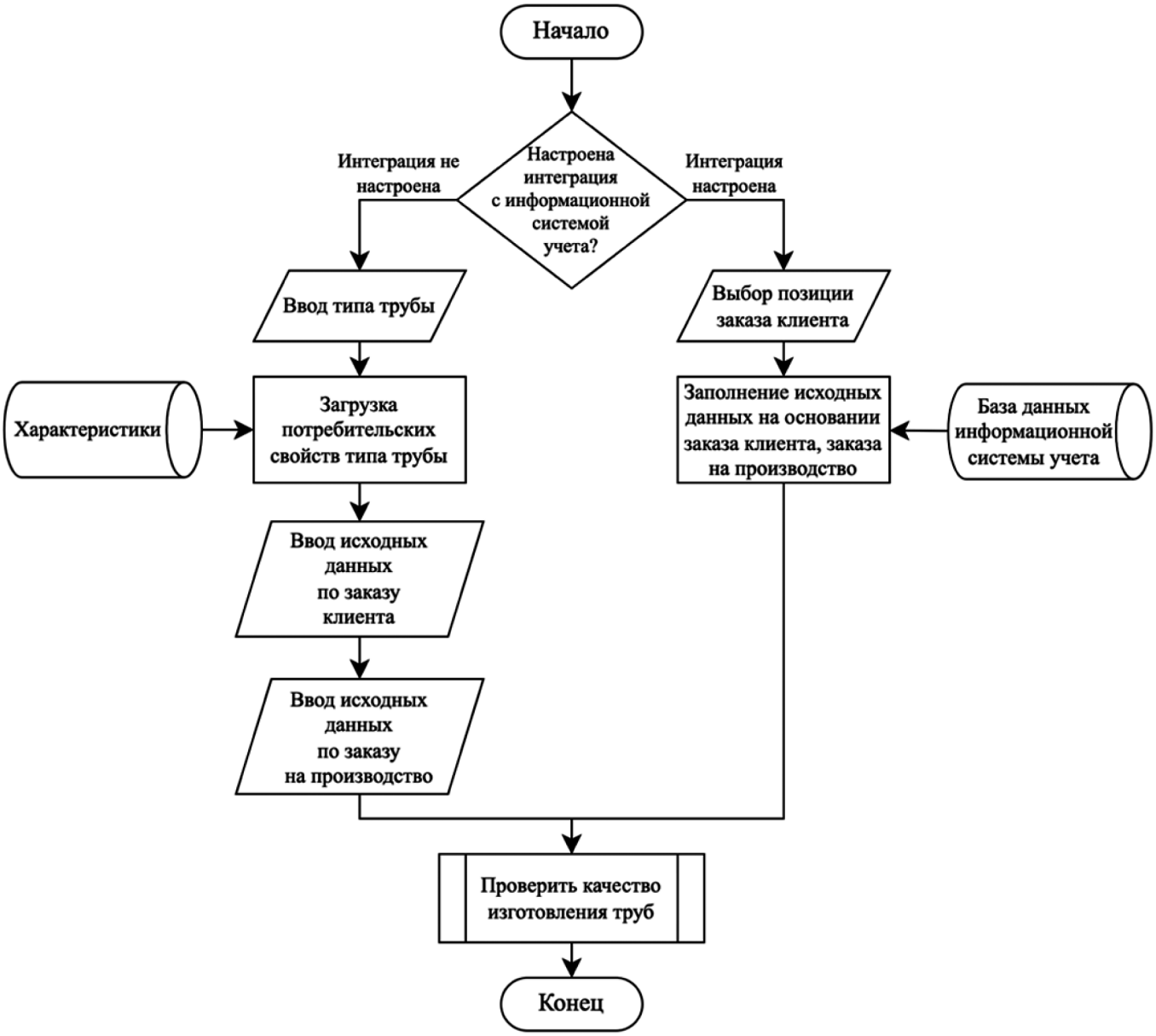


Рис. 1. Алгоритм проверки качества изготовления стальных труб

включения новых критериев оценки, что делает её универсальным инструментом в рамках цифровизации трубопрокатного производства [6, с. 323].

На рисунке 1 представлена логическая схема алгоритма подготовки исходной информации, служащей основой для проведения контроля качества стальных труб. Алгоритм охватывает этап предварительной инициализации данных, обеспечивая корректное и полное формирование входной информации до начала аналитических и экспертных процедур.

Процесс запускается с проверки состояния интеграции с корпоративной информационной системой (КИС), обеспечивающей автоматизированный обмен данными между производственными и управленческими уровнями. Если интеграция активна, пользователю достаточно выбрать конкретную позицию из реестра клиентских заказов, после чего система автоматически извлекает связанный производственный заказ, потребительские характеристики, нормативные требования и другие параметры, необходимые для анализа. Такой подход минимизирует участие человека, устраняет дублирование ввода и снижает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором [4, с. 134].

В случае отсутствия интеграции с КИС система переходит в режим ручного ввода. Пользователь поэтапно задаёт следующие параметры:

— тип и назначение трубы, включая предполагаемые условия эксплуатации (например, агрессивная среда, повышенное давление и т.д.);
— потребительские требования, выдвигаемые заказчиком (механические свойства, допустимые отклонения, стандарты качества);
— производственные параметры, отражающие особенности изготовления (марка стали, способ формовки, режим термообработки, виды контроля).

После завершения ввода — вне зависимости от способа получения данных (автоматического или ручного) — формируется единый структурированный массив исходной информации, необходимый для последующей многоуровневой проверки качества.

Завершающим этапом алгоритма является передача сформированных данных в модуль экспертной системы, где происходит сопоставление фактических характеристик труб с заданными критериями. Это обеспечивает целостный подход к оценке соответствия продукции требованиям, заявленным как со стороны заказчика, так и внутренними регламентами предприятия.

Таким образом, представленный алгоритм выполняет функцию интеллектуального фильтра, который обеспечивает актуальность, непротиворечивость и полноту исходных данных, что критически важно для достоверного и эффективного контроля качества в условиях современного трубопрокатного производства.

Алгоритм модуля экспертной системы представлен на рисунке 2.

Процесс контроля качества стальных труб начинается с инициализации процедуры проверки. На начальном этапе система определяет наличие активного подключения к корпоративной информационной системе. Если обмен данными настроен, система автоматически извлекает все необходимые дополнительные требования к продукции, связанные с конкретным заказом. При отсутствии связи пользователь вручную вводит недостающие параметры, включая специальные требования клиента и условия эксплуатации [7, с. 865–866].

Следующим шагом осуществляется автоматическая загрузка нормативно-технической документации, регулирующей параметры трубной продукции. В качестве источников используются базы стандартов и база знаний, включающая актуальные версии ГОСТ, ТУ и внутренних нормативов предприятия. На основе этих данных выполняется предварительная верификация — сопоставление информации о продукции с нормативными требованиями и параметрами заказа. Если имеются расхождения, система прекращает дальнейшую проверку и генерирует акт несоответствия по документальному контролю [3, с. 145].

При положительном результате документальной проверки контроль переходит в практическую часть. Первым этапом здесь является визуальный осмотр труб. С использованием базы эталонных дефектов производится оценка состояния поверхности: наличие трещин, вмятин, следов коррозии и иных отклонений. При обнаружении дефектов, не допускаемых нормативами, система автоматически формирует акт выбраковки по результатам визуального контроля [8, с. 2509].

Если внешний осмотр не выявил нарушений, проверка продолжается оценкой геометрических характеристик труб. Контролируются ключевые параметры, включая внешний и внутренний диаметр, толщину стенки, длину, овальность, прямолинейность и другие показатели. Все данные сравниваются с нормативными значениями, и при наличии несоответствий оформляется соответствующий акт [1, с. 54].

Финальным этапом служит проверка механических свойств трубной продукции. Выполняются испытания на прочность, пластичность, твёрдость, ударную вязкость, устойчивость к коррозии и другие характеристики в соответствии с техническим заданием. При обнаружении несоответствий системе поручается оформить

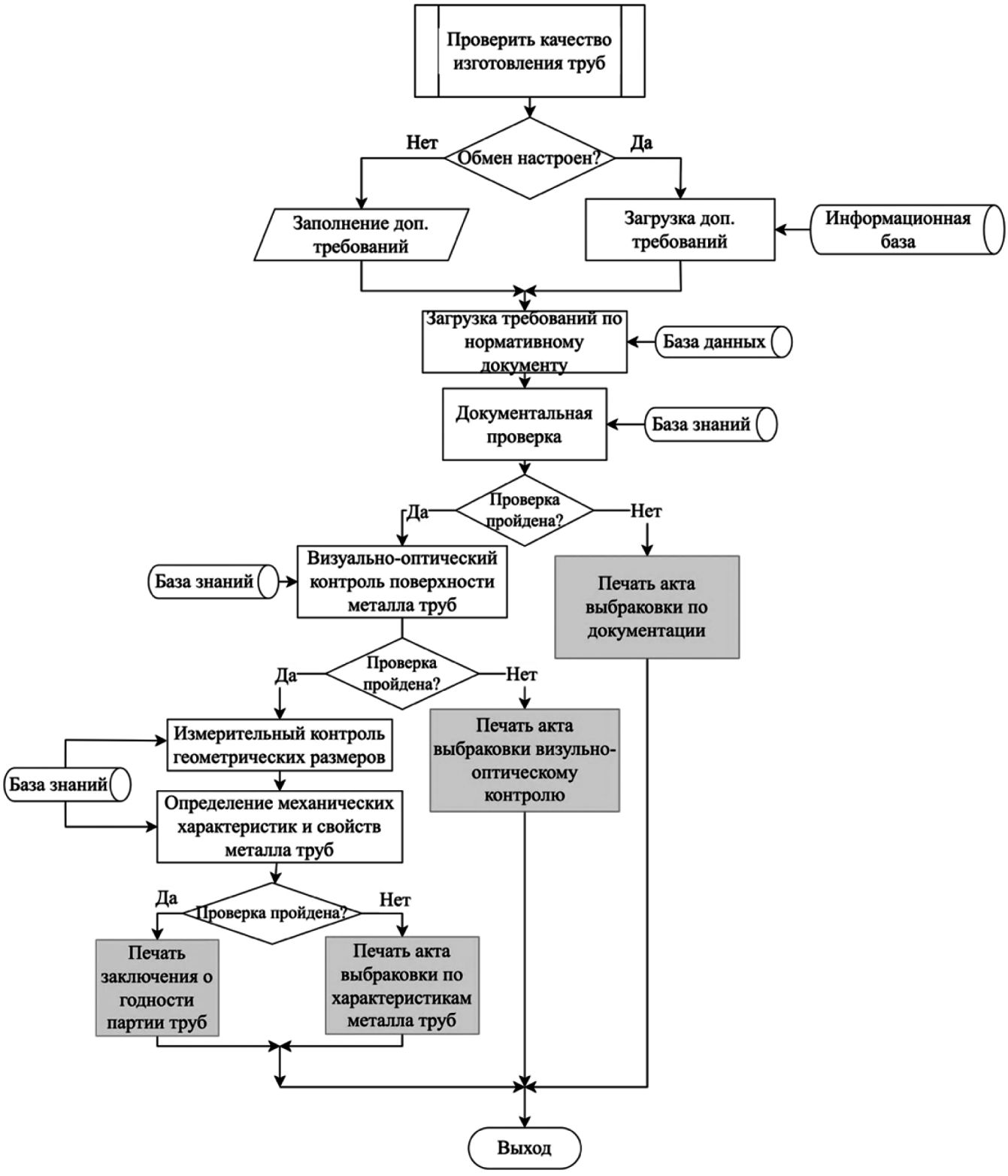


Рис. 2. Алгоритм модуля экспертной системы

акт выбраковки по физико-механическим параметрам [9, с. 83].

Если трубная продукция успешно проходит все этапы контроля, формируется итоговое заключение о соответствии. Этот документ подтверждает пригодность партии к дальнейшему использованию, включая отгрузку или передачу на следующий этап технологической цепочки [10, с. 95].

Таким образом, алгоритм представляет собой детализированную пошаговую систему, обеспечивающую комплексную оценку трубной продукции на всех уровнях. Внедрение автоматических актов несоответствия на каждом этапе позволяет существенно повысить точность, прозрачность и воспроизводимость контроля, а также сократить влияние субъективного человеческого фактора.

Результаты и обсуждения

Для оценки эффективности внедрённого решения были использованы показатели, позволяющие зафиксировать изменения в затратах времени и уровне задействования трудовых ресурсов при выполнении операций, связанных с контролем качества изготовления стальных труб.

После проведения контрольного запуска системы была выполнена сравнительная оценка до и после внедрения. Основное внимание уделялось анализу временных затрат сотрудников на стандартные этапы проверки: от получения исходной информации до формирования итогового заключения. Ключевым индикатором послужил прирост производительности труда — показатель, демонстрирующий, насколько быстрее и с меньшими трудозатратами выполняется та же объёмная работа после внедрения новой системы. Этот параметр позволяет наглядно определить эффективность изменений, выраженную в сокращении времени и повышении объёма выполненных задач за единицу времени.

Результаты оценки эффективности алгоритма представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Оценка эффективности

№ п/п	Вид работ	Среднее время на проверку одной партии труб на смену на одного сотрудника, минут		Экономия времени за смену	Повышение производительности труда, %
		До внедрения	После внедрения		
1	Проверка качества изготовления стальных труб	170	130	40	23,5
2	Составление документации	200	170	30	15
3	Формирование отчетов	164	120	44	26,8
ИТОГО		534	420	114	21,3 %

Расчёты, представленные в таблице 1, основаны на следующих исходных данных:

— сотрудник отдела технологического контроля тратит 80 % рабочего времени на выполнение трёх ключевых операций, указанных в таблице;
— продолжительность одной производственной смены составляет 720 минут (12 часов);
— все сотрудники выполняют указанные операции за одинаковое количество времени.

До внедрения разработанного алгоритма среднее суммарное время, затрачиваемое на выполнение трёх основных видов работ в течение одной смены, составляло 534 минуты. После внедрения — 420 минут. Это свидетельствует о снижении трудозатрат на 114 минут на одного сотрудника в смену.

Заключение

Внедрение разработанного алгоритма для проверки качества изготовления стальных труб стало важным шагом в решении проблем фрагментированного подхода к контролю качества на трубопрокатных предприятиях. Отсутствие единой цифровой платформы и ручные проверки, требующие значительных временных и трудовых затрат, негативно сказывались на оперативности и точности контроля, что приводило к увеличению производственного цикла и снижению объективности оценок.

Реализованный алгоритм обеспечил систематизацию процесса проверки качества на всех этапах производственного цикла, начиная от входного контроля документации до испытаний на механические характеристики труб. Автоматизация этих процессов позволила значительно сократить время, затрачиваемое на проверки, повысив точность и объективность принятия решений.

Эффективность внедрения системы была подтверждена расчетами, которые показали сокращение времени, затрачиваемого на проверку качества, на 21,3 % за одну производственную смену. Это результат улучшения взаимодействия между различными участками производства и автоматизации ключевых операций, что позволило снизить нагрузку на специалистов по качеству и повысить их производительность.

Таким образом, внедрение экспертной системы, на основании разработанного алгоритма стало значительным вкладом в повышение оперативности и точности контроля качества стальных труб. Это решение отвечает требованиям современной цифровизации производства и может служить основой для дальнейших улучшений в области качества продукции на трубопрокатных предприятиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров А.В. Оценка качества муфтовой заготовки для насосно-компрессорных труб / А.В. Владимиров, Г.А. Орлов // Технология металлов. — 2020. — № 8. — С. 52–56. — DOI 10.31044/1684–2499-2020-0-8-52-56. — EDN UYFKDQ.
2. Зубарева А.Д., Мельников А.С., Озеров С.Л., Захаров А.К. Теоретические аспекты понятий качество продукции и управление качеством продукции как показателей экономической эффективности предприятия / А.Д. Зубарева, А.С. Мельников, С.Л. Озеров, А.К. Захаров // Импульс организационных инноваций: Сборник научных работ 2 межвузовского конкурса студентов, магистрантов и аспирантов. Том 2. — Москва: ООО «Паблит», 2021. — С. 110–122. — EDN GAEATL.
3. Полецков П.П. Проблемы в области производства и эксплуатации магистральных труб Северного исполнения / П.П. Полецков, Д.Ю. Алексеев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Тезисы докладов 77-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 22–26 апреля 2019 года. Том 1. — Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2019. — С. 145. — EDN PXNOAF.
4. Скородумов С.В. Исследование влияния факторов, определяющих качество материала труб, на надежность объектов трубопроводного транспорта нефти / С.В. Скородумов, П.В. Пошибаев, Н.К. Габдуллин // Нефтяное хозяйство. — 2023. — № 9. — С. 133–136. — DOI 10.24887/0028-2448-2023-9-133-136. — EDN SNOPBM.
5. Стахеева Л.М. Показатели и методы повышения производительности труда / Л.М. Стахеева // Социально-гуманитарное образование: новые подходы и тренды: Материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции, Екатеринбург, 13 октября 2023 года. — Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2023. — С. 304–308. — EDN LVLHPU.
6. Сунгатуллина З.А. Методы оценки взаимосвязи между уровнем качества продукции и экономическими показателями / З.А. Сунгатуллина // Техника и технология современных производств: Сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 13–14 мая 2024 года. — Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. — С. 322–325. — EDN ENKJQL.
7. Трифанов В.И. Технологическое обеспечение качества изготовления каналов труб волноводов из ферромагнитных материалов / В.И. Трифанов, Т.А. Пчелкина, Ю.Ф. Басов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики: в 3 томах, Красноярск, 12–16 апреля 2021 года / Под общей редакцией Ю. Ю. Логинова. Том 2. — Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2021. — С. 865–866. — EDN GSAARG.
8. Чедайкин В.М. Методы, цели и показатели для оценки качества продукции / В.М. Чедайкин // Проспект Свободный — 2023: Материалы XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 24–29 апреля 2023 года. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2023. — С. 2508–2510. — EDN YMDIEM.
9. Чернильник А.А. Способы повышения качества поверхности водопроводных труб / А.А. Чернильник, М.И. Онищук, К.К. Евсюков // СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ и ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ НАУКИ: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Самара, 18 марта 2019 года. — Самара: Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований», 2019. — С. 83–84. — EDN ZAFKJN.
10. Шайбакова Л.Ф. Оценка тенденций и проблем развития производства стальных труб в Российской Федерации / Л.Ф. Шайбакова, А.В. Курдюмов, Н.С. Громова // Общество: политика, экономика, право. — 2023. — № 12(125). — С. 90–98. — DOI 10.24158/pep.2023.12.11. — EDN CVSYIP.

© Скибин Станислав Алексеевич (1376746@bsuedu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.42

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КИБЕРУСТОЙЧИВОСТИ

ANALYSIS OF MODERN APPROACHES TO ASSESSING A COMPREHENSIVE INDICATOR OF CYBER-RESISTANCE

D. Suzdalsky

Summary. The article argues for the need to implement a comprehensive assessment of the security of information systems through the prism of the cyber resilience indicator. The article examines modern methods for creating cyber threat-resistant infrastructures proposed by various organizations, including NIST, the US Department of Homeland Security, MITRE, and Positive Technologies, etc. A review of existing sources revealed the lack of a universal approach to cyber resilience. At the moment, uniform criteria and metrics have not been formed to measure the effectiveness and level of cyber resilience of organizations, despite the availability of separate practical developments in this area. It is emphasized that cyber resilience issues are an interdisciplinary field that requires a comprehensive solution to interrelated tasks. In conclusion, there is a significant gap in the field of standardization — the lack of a holistic methodology combining the necessary methods, models, and algorithms to ensure the cyber stability of information systems.

Keywords: cybersecurity, functional stability, business continuity, cyber resilience.

Суздальский Дмитрий Андреевич
аспирант,
Российский Экономический Университет, г. Москва
ya.jummer@yandex.ru

Аннотация. В статье аргументируется необходимость внедрения комплексной оценки безопасности информационных систем через призму показателя киберустойчивости. Исследованы современные методики создания устойчивых к киберугрозам инфраструктур, предложенные различными организациями, включая NIST, Департамент внутренней безопасности США, MITRE и Positive Technologies и др.

Проведенный обзор существующих источников выявил отсутствие универсального подхода к обеспечению киберустойчивости. На данный момент не сформированы единые критерии и метрики для измерения эффективности и уровня киберустойчивости организаций, несмотря на наличие отдельных практических разработок в этой сфере.

Подчеркивается, что вопросы киберустойчивости представляют собой междисциплинарную область, требующую комплексного решения взаимосвязанных задач. В заключении отмечается существенный пробел в области стандартизации — отсутствие целостной методологии, объединяющей необходимые методы, модели и алгоритмы для обеспечения киберустойчивости информационных систем.

Ключевые слова: кибербезопасность, функциональная устойчивость, непрерывность бизнеса, киберустойчивость.

Введение

В настоящее время предприятия активно интегрируют корпоративные информационные системы (КИС) в свои бизнес-процессы для повышения эффективности работы. Учитывая, что успешность цифровых бизнес-операций тесно связана с использованием данных из этих систем, вопросы их защиты выходят на первый план.

В условиях усиления информационных конфликтов в киберпространстве значительно возрастает значимость защиты данных субъектов экономической деятельности (СЭД) [1–2]. Необходимо учитывать, что киберпространство является динамичной глобальной информационной средой, что делает обеспечение киберустойчивости организаций релевантным только в конкретный временной период.

Следовательно, стратегии защиты информационных систем должны обладать гибкостью и способностью к адаптации, принимая во внимание изменчивость цифровой среды и появление новых угроз. Это требует комплексного подхода к обеспечению безопасности, который охватывает защиту данных, поддержание функционирования информационных систем и непрерывность бизнес-процессов.

Для решения данной проблемы предлагается провести исследование современных инновационных методов и моделей оценки интегрального показателя киберустойчивости. Данный показатель включает в себя отдельные метрики кибербезопасности, отказоустойчивости и непрерывности бизнес-процессов [4–5].

Основной задачей анализа существующих методологий и моделей оценки интегрального показателя киберустойчивости является выявление и отбор наиболее эффективных и проверенных практик для оценки уровня киберустойчивости организаций.

Анализ существующих подходов к оценке комплексного показателя киберустойчивости

На сегодняшний день сформировалось несколько направлений в создании киберустойчивой инфраструктуры, разработанных различными организациями:

- Национальным институтом стандартов и технологий (NIST);
- Департаментом внутренней безопасности США;
- Компанией MITRE;
- Компанией Positive Technologies;
- Другими ведущими специалистами в области кибербезопасности.

Однако, несмотря на наличие множества подходов, в данной области пока не существует универсального методологического решения. Отсутствуют четко сформулированные критерии и метрики, которые позволили бы объективно оценить уровень киберустойчивости организации и эффективность применяемых мер защиты.

Тем не менее, в этой сфере накоплен определенный опыт и разработаны отдельные практические решения. Далее будут представлены результаты анализа существующих подходов и их особенностей, что позволит лучше понять текущее состояние вопроса и определить направления для дальнейшего развития методологии обеспечения киберустойчивости.

Киберустойчивость согласно NIST (Национальный институт стандартов и технологий США)

Согласно определению NIST, киберустойчивость представляет собой комплексную способность организации заблаговременно выявлять потенциальные угрозы, эффективно сопротивляться кибератакам, оперативно восстанавливать работоспособность систем после инцидентов и гибко адаптироваться к меняющимся условиям киберактивности. Данная способность охватывает защиту и реагирование на различные неблагоприятные факторы, включая информационные атаки и компрометацию систем, функционирующих с использованием цифровых ресурсов. Для реализации необходимого уровня киберустойчивости требуется проведение комплекса мероприятий, учитывающих все перечисленные выше характеристики и направленные на обеспечение надежной защиты информационных активов организации, рисунок 1. [3].

Документ определяет следующие ключевые направления для обеспечения киберустойчивости организации:

- Проактивная защита от несанкционированного доступа и попыток взлома систем;
- Стратегическое планирование мер по выявлению потенциальных угроз и созданию эффективных механизмов противодействия;
- Устойчивость инфраструктуры к различным видам кибератак и способность сохранять работоспособность в кризисных ситуациях;
- Минимизация последствий в случае успешной реализации кибератаки;
- Восстановление систем до исходного состояния после инцидента;
- Мониторинг состояния информационных ресурсов как в штатном режиме, так и в период реагирования на атаки;
- Адаптация бизнес-процессов и технической поддержки для поддержания непрерывного функционирования организации.

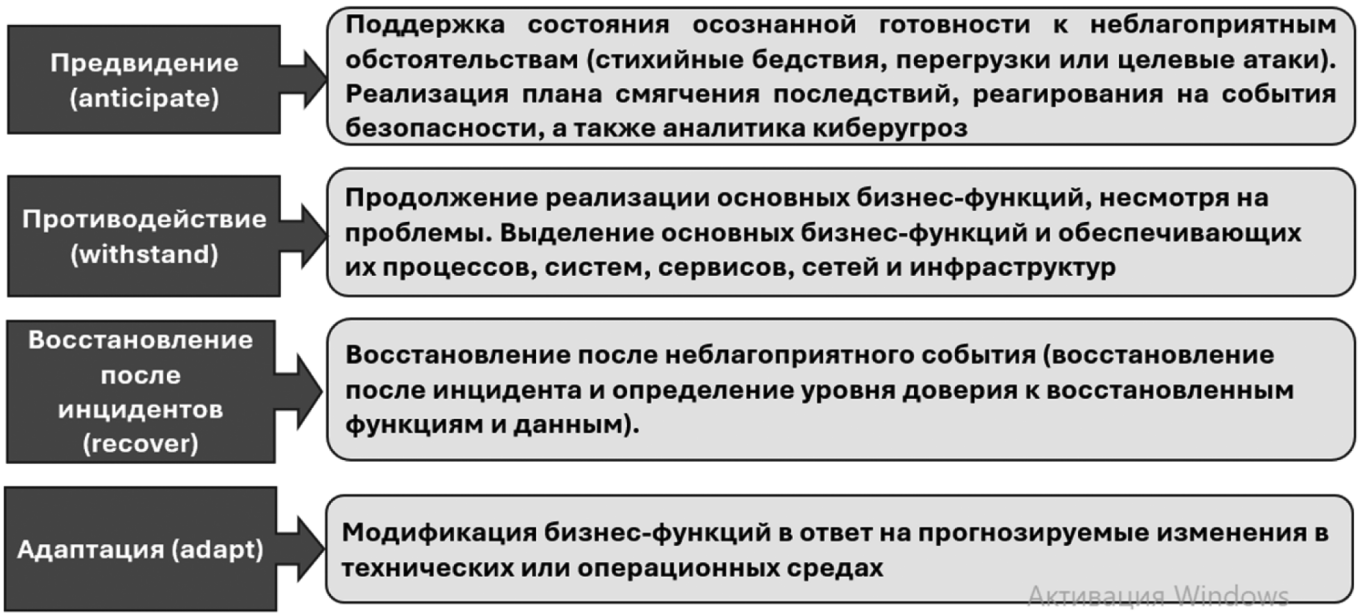


Рис. 1. Мероприятия для достижения целей обеспечения киберустойчивости согласно NIST

Для решения сформулированных задач в целях построения киберустойчивых систем реализуются техники [3], таблица 1.

Таблица 1.

Техники для решения задач обеспечения киберустойчивости

Техника	Содержание техники
Мониторинг	Непрерывное отслеживание функционирования всех систем
Адаптивное реагирование	Применение гибких инструментов реагирования на риски.
Контекстная осведомлённость	Документирование всех процессов
Скоординированная защита	Оркестрация средств безопасности
Обман/запутывание нарушителя	Введение в заблуждение нарушителя
Разнообразие	Использование различных компонентов в архитектуре системы для снижения повторяемости уязвимостей.
Динамическое позиционирование	Перемещение ресурсов (например, микросервисов) на другие аппаратно-программные платформы.
Очистка состояния	Удаление данных после окончания их использования.
Ограничение привилегий	Реализация принципа минимальных привилегий.
Реструктуризация	Текущая структуризация систем и пользователей в соответствии с целями и бизнес-функциями.
Избыточность	Дублирование данных и наиболее критичного функционала
Сегментация	Разделение инфраструктуры на изолированные компоненты с учетом их критичности и отказоустойчивости.
Подтверждение целостности	Обеспечение целостности данных в том числе с использованием технологии блокчейна.
Непредсказуемость	Обеспечение высокой степени неопределенности представлений нарушителя о системе и ее состоянии.

Перечисленные техники реализуются в рамках организационных, технических, программно-аппаратных и морально-этических мероприятий.

Методика оценки киберустойчивости Cyber Resilience Review (CRR)

Cyber Resilience Review (CRR) представляет собой методологию оценки киберустойчивости, созданную Департаментом внутренней безопасности США. Данная методика базируется на модели управления устойчивостью *CERT Resilience Management Model (CERT-RMM)* версии 1.2 и направлена на комплексную оценку способности организации противостоять киберугрозам, а также на выявление слабых мест для их последующего устранения с применением лучших отраслевых практик [6].

Оценка киберустойчивости по методологии CRR охватывает следующие ключевые области:

- Asset Management — управление информационными активами;
- Control Management — контроль защитных механизмов;
- Configuration & Change Management — управление конфигурацией и изменениями;
- Vulnerability Management — работа с уязвимостями.
- Incident Management — реагирование на инциденты;
- Continuity Management — обеспечение непрерывности работы;
- Risk Management — управление рисками;
- External Dependency Management — контроль внешних зависимостей;
- Awareness & Training — обучение персонала и повышение осведомленности;
- Situational Awareness — мониторинг текущей ситуации.

Каждая из этих областей играет важную роль в формировании общей киберустойчивости организации и требует постоянного внимания и совершенствования.

Методика оценки киберустойчивости ИПУ РАН

Российские специалисты разработали критерии киберустойчивости [7] для оценки безопасности программного обеспечения. Эти критерии основаны на анализе конфигураций ПО и включают два основных положения:

- Отсутствие критических сбоёв — в инфраструктуре не должно быть таких конфигураций ПО, которые приводят к невыполнению штатных функций;
- Отсутствие скрытых угроз — в системе не должно быть конфигураций ПО, активирующих не декларированные (скрытые) функции.

Нарушение любого из этих критериев может привести к серьезным материальным потерям. Для оценки рисков была создана специальная методика, состоящая из следующих шагов:

- Составление списка штатных функций системы;
- Анализ потенциального ущерба от нарушения каждой штатной функции;
- Выявление всех скрытых функций;
- Оценка возможных последствий активации скрытых функций;
- Составление перечня уязвимостей системы;
- Определение связи между уязвимостями и функциями (как штатными, так и скрытыми);
- Комплексный анализ потенциального ущерба от всех выявленных рисков.

По результатам анализа формируются специальные таблицы, которые помогают:

- Оценить общий уровень риска;
- Выявить наиболее критические уязвимости;
- Определить приоритеты в устранении угроз;
- Сфокусироваться на проблемах с максимальным риском.

Такой подход позволяет системно подойти к оценке киберустойчивости и эффективно управлять рисками информационной безопасности.

Методика оценки защищенности организаций от кибератак, связанных с недопустимыми событиями (НС)

Positive Technologies [8] создала специальный метод для оценки того, насколько хорошо организации защищены от кибератак, которые могут привести к серьезным проблемам в их работе. Недопустимое событие в данном случае — это результат хакерской атаки, из-за которого компания не может достичь своих главных целей или серьезно нарушает свою основную деятельность.

Чтобы оценить уровень защиты, сначала выявляются потенциальные недопустимые события, а затем проводятся имитации кибератак. После этого, используя модель потенциального нарушителя и результаты тестирования по шкале в 1000 баллов, определяется уровень защиты от внешних и/или внутренних угроз.

Для проведения оценки используются три типа метрик:

- Метрики достижений — показывают результаты работы на сетевом периметре или локальной сети, не связанные с реализацией недопустимых событий;
- Метрики реализации — отражают, насколько успешно достигаются ключевые цели работы и помогают собирать данные о результатах действий, связанных с недопустимыми событиями;
- Корректирующие коэффициенты — уточняют оценку защищенности с учетом особенностей процессов информационной безопасности и сложности проводимой атаки.

За каждый обнаруженный недостаток в системе безопасности компания получает штрафные баллы. Например, за обнаружение серьезной уязвимости в веб-приложениях начисляется 2 балла, а за нахождение нескольких способов обхода сетевой защиты — 6–7 баллов. Каждая из метрик включает частные метрики, рисунок 2.



Рис. 2. Метрики оценки киберустойчивости организации

Пример метрик достижения и полученные штрафные баллы представлен в таблице 2.

Пример метрик реализации НС и полученных штрафных баллов представлен в таблице 3.

Таблица 2.
Метрики-достижения и штрафные баллы (пример)

Метрика	Результат		Количество баллов
Выявление уязвимостей на сетевом периметре	Удалось выявить уязвимости высокого или критического уровня по шкале Common Vulnerability Scoring System (CVSS) в веб-приложениях и (или) их компонентах?	Да	2
		Нет	0
	Удалось выявить уязвимости высокого или критического уровня по шкале CVSS в сервисах удаленного доступа (например, SSH, VPN, RDP)?	Да	2
		Нет	0

Таблица 3.
Метрики реализации НС и штрафные баллы

Метрика	Результат		Количество баллов
Сбор информации о целевых системах	Удалось получить доступ к любым ресурсам, на которых обрабатывается (хранится) документация с информацией о целевых системах?	Да	1
		Нет	0
	Удалось получить доступ к рабочим местам или серверам, с которых возможно подключение к целевым системам?	Да	1
		Нет	0
	Удалось ли получить учетные данные для доступа к целевым системам?	Да	1
		Нет	0
	Удалось получить доступ к рабочим местам пользователей, отвечающих за администрирование целевых систем?	Да	2
		Нет	0

Пример метрик Корректирующие коэффициенты представлен в таблице 4.

В процессе оценки безопасности организации по различным показателям производится начисление баллов. Для определения общего уровня киберустойчивости (защищенности) организации применяется следующая формула расчета ОПР:

$$ОПР=(NMAX–NФАКТ)\times K1\times K2\times...\times KX\times NMAX1000+D$$

$$ОИТОГ=min(1000; ОПР)$$

где: NMAX — предельное количество штрафных баллов, которое может быть начислено организации во время проведения аудита;

Таблица 4.
Корректирующие коэффициенты и их значения

Метрика	Результат	Значение
Обход средств защиты	Средства защиты не обнаружены или их наличие не оказало какого-либо существенного влияния на проведение атак	0,9
	Наличие средств защиты замедлило или осложнило развитие векторов атаки, потребовалось использовать техники их обхода	0,95
	Наличие средств защиты заблокировало развитие векторов атаки, пришлось искать альтернативные системы для взлома	1
Обход правил фильтрации сетевого трафика между сегментами сети	Правила фильтрации сетевого трафика между сегментами сети не препятствовали развитию векторов атаки	0,8
	Обход правил фильтрации сетевого трафика между сегментами сети усложнил ход работ, но в итоге удалось реализовать НС	0,9
	Реализовать НС не удалось из-за ограничений фильтрации сетевого трафика между сегментами сети	1

NФАКТ — реальное количество набранных штрафных баллов;

K1×K2×...×KX=KKOPP — комплекс корректировочных коэффициентов;

D — временной промежуток до наступления первого инцидента в хронологическом порядке.

Показатель NMAX определяется исходя из специфики инфраструктуры организации (наличие доменной структуры) и результатов тестирования (успешность преодоления сетевого периметра и получения доступа к локальной вычислительной сети).

По итогам оценки используется шестиуровневая система градаций, установленная на основе экспертного мнения:

- Высокий уровень — 851–1000 баллов;
- Выше среднего — 651–850 баллов;
- Средний уровень — 501–650 баллов;
- Ниже среднего — 301–500 баллов;
- Низкий уровень — 51–300 баллов;
- Крайне низкий — 0–50 баллов.

Каждый диапазон баллов отражает определенный уровень киберустойчивости организации, что позволяет объективно оценить состояние информационной безопасности.

Анализ инструментов, используемых для оценки уровня киберустойчивости на примере навигатора киберустойчивости MaxPatrol Carbon

Решение задач по обеспечению кибербезопасности возложено на инструмент MaxPatrol Carbon от Positive Technologies [9]. Данное решение позволяет не только устанавливать необходимые требования к инфраструктуре, но и контролировать их выполнение для эффективного выявления и пресечения действий злоумышленников. Ключевая особенность продукта заключается в обеспечении киберустойчивости организации — её способности сохранять работоспособность бизнес-процессов и ИТ-инфраструктуры под воздействием кибератак.

По утверждению разработчиков, оценка уровня киберустойчивости является ключевым фактором успешной реализации комплексной защиты. Это достигается за счет поддержания постоянного состояния готовности организации к отражению кибератак и обеспечения бесперебойного функционирования всех систем.

Эффективность защиты определяется способностью системы быстро обнаруживать и нейтрализовать угрозы. Для количественной оценки киберустойчивости применяются две основные метрики: TTR (time to response, t_1) — время обнаружения и пресечения атаки, и TTA (time to attack, t_2) — время, за которое злоумышленник достигает своей цели. При условии, что t_1 меньше t_2, организация существенно снижает риски потенциальных потерь и ущерба от кибератак, рисунок 3.

Этот метод, разработанный компанией Хардкор-ИТ, направлен на существенное замедление действий атакующих (параметр TTA — время атаки) для того, чтобы специалисты по кибербезопасности получили достаточно времени на обнаружение и устранение угрозы (параметр TTR — время реагирования).

Успешность применения данного подхода определяется соотношением этих временных показателей: если время атаки (TTA) меньше времени реагирования (TTR), то атака считается успешной для злоумышленников. Таким образом, основная задача заключается в том, чтобы добиться ситуации, когда TTR становится меньше TTA, что обеспечивает эффективную защиту от APT-угроз (целенаправленных длительных атак).

Методика оценки защищенности организаций от кибератак, связанных с использованием фреймворка

Российская компания Innostage представила исследование [10], в котором аргументирует потребность в создании универсального подхода к оценке киберустойчивости организации. Разработанный методологический фреймворк, по замыслу авторов, должен состоять из пяти последовательных этапов.

Фреймворк представляет собой комплексный инструментарий, включающий набор правил, шаблонов и методических материалов для создания решений в сфере кибербезопасности и смежных областях.

Структура компании в рамках данной методологии разделена на два ключевых модуля:

Модуль обработки — объединяет компоненты, связанные с управлением, обнаружением угроз и операционной деятельностью.

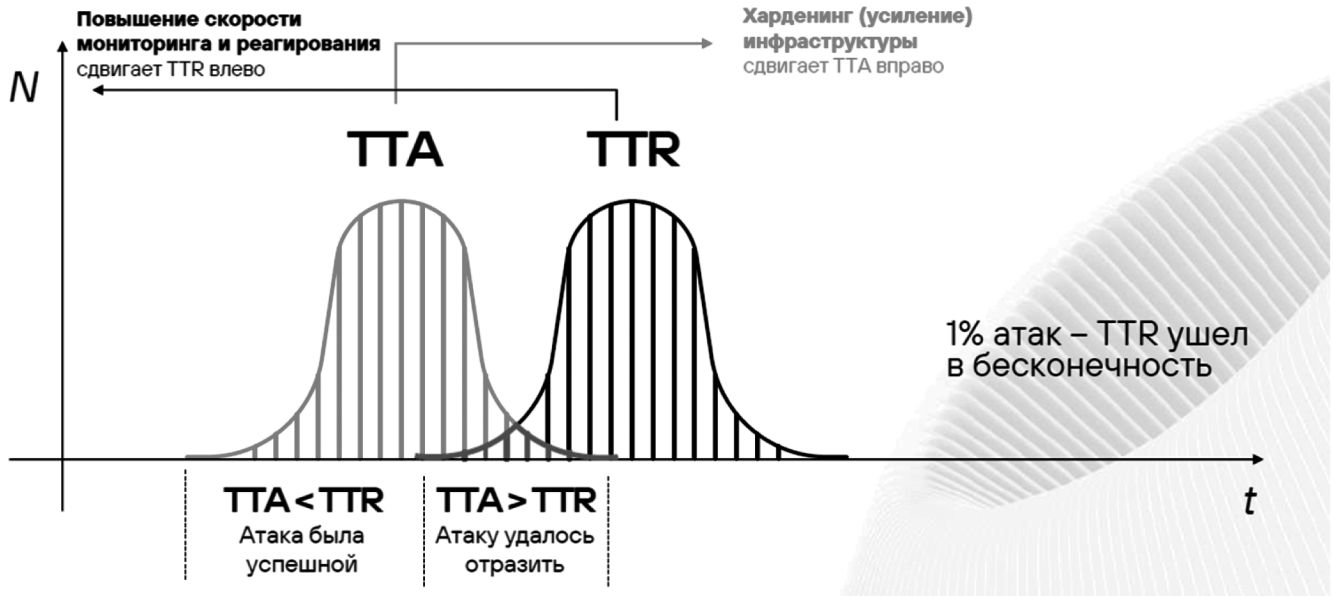


Рис. 3. Соотношение времени реализации атаки TTA и времени обнаружения и остановки атаки TTR

Системный модуль — включает программное обеспечение, аппаратные компоненты, сетевое оборудование и инфраструктуру

Каждый элемент системы характеризуется определенным набором атрибутов, которые оцениваются по четырехбалльной шкале. Показатели киберустойчивости классифицируются по четырем уровням, рисунок 4:

- Первоначальный;
- Определенный;
- Основной;
- Стандартный.

Используемые инструменты позволяют проводить количественную оценку текущих показателей кибербезопасности и сравнивать их с базовыми или эталонными значениями, что дает возможность объективно оценивать уровень защищенности организации.

Достигнутый уровень киберустойчивости визуализируется с помощью лепестковых диаграмм. Этот способ является эффективным инструментом визуализации уровня киберустойчивости организации. Данный метод позволяет наглядно сравнить текущие показатели с тремя ключевыми уровнями, рисунок 5:

- Базовый уровень — минимальный набор требований к киберустойчивости, необходимый для функционирования организации;
- Стандартный уровень — общепринятые отраслевые нормы и требования по киберустойчивости;
- Показатели бенчмарков (эталонный) — результаты эталонных тестов, демонстрирующие лучшие практики в области киберустойчивости.

Визуализация на лепестковой диаграмме представляет собой:

- Каждый параметр киберустойчивости отображается как отдельный луч;
- Значения параметров соединяются линиями, образуя «лепестки»;
- Различные уровни (базовый, стандартный, бенчмарк) отображаются разными цветами;
- Текущие показатели организации наносятся на диаграмму для сравнения.

Преимущества такого подхода:

- Наглядное представление многомерных данных;

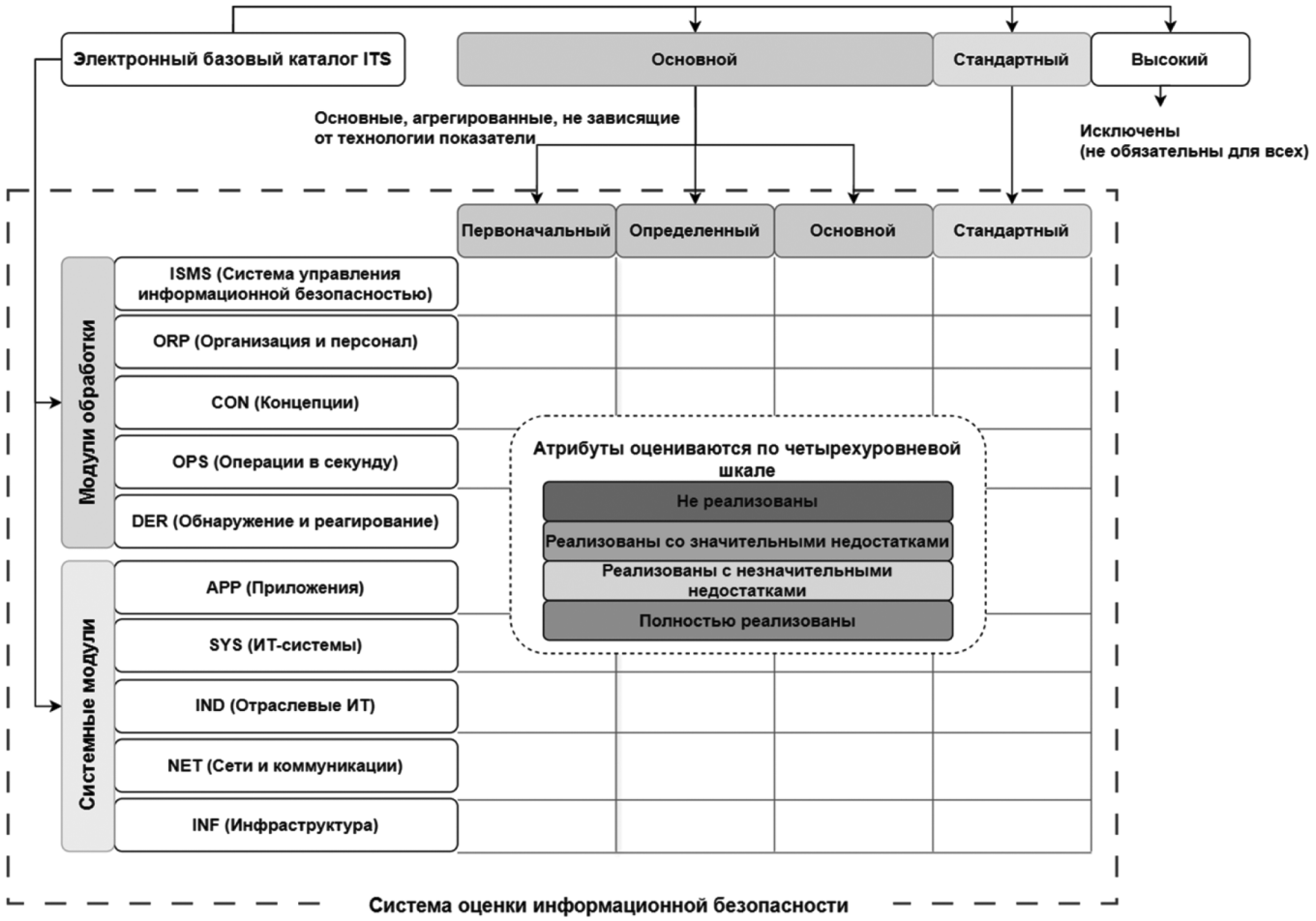


Рис. 4. Фреймворк оценки киберустойчивости компаний

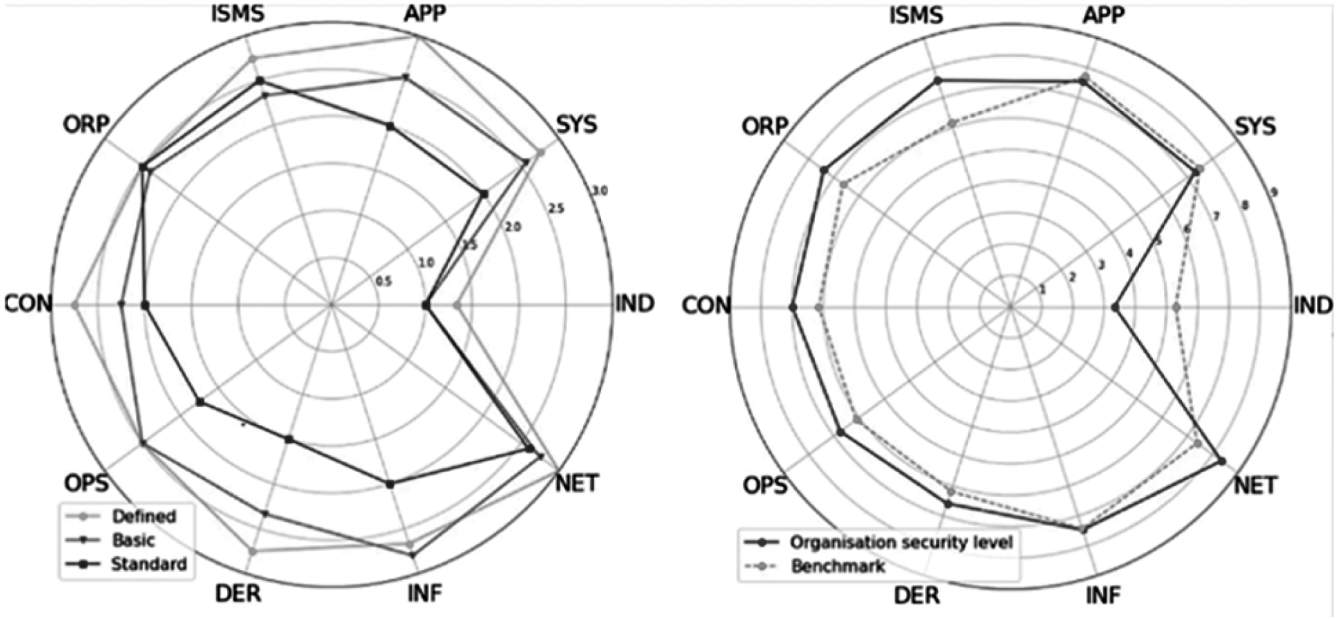


Рис. 5. Результаты сравнения достигнутого уровня киберустойчивости с базовым и стандартным уровнями (слева), а также с показателями эталонных тестов (бенчмарков) справа

- Возможность быстрого сравнения различных показателей;
- Визуализация пробелов между текущими и целевыми значениями;
- Простота интерпретации результатов для всех заинтересованных сторон.

Такой метод визуализации позволяет не только оценить текущий уровень киберустойчивости, но и определить приоритетные направления для улучшения, а также отслеживать динамику изменений в процессе совершенствования системы киберзащиты.

Подход обеспечения необходимого уровня киберустойчивости на основе построения Центра киберустойчивости

В работе [11] показано, что в банковской сфере проблема киберустойчивости является достаточно актуальной, что подтверждается множеством исследований. Ключевым документом, на который опираются специалисты, является руководство IOSCO по устойчивости финансового рынка к угрозам кибербезопасности, разработанное в 2016 году.

В настоящее время в организациях наблюдается фрагментация систем управления:

- Система управления качеством;
- Система управления кибербезопасностью;
- Система управления непрерывностью бизнеса.

Основной недостаток текущей системы заключается в отсутствии интеграции между этими процессами, что приводит к разрыву в передаче данных между различными подразделениями.

Для устранения существующих противоречий предлагается разработать единую методологию на основе следующих документов:

- Руководство IOSCO по киберустойчивости финансовых рынков (2016);
- Специальная публикация NIST 800–160 Volume 2 (2018);
- Международный стандарт ISO/IEC 27001:2016.

Соответственно Центр киберустойчивости должен обеспечивать выполнение следующих ключевых функций, рисунок 6:

- Интеграция процессов непрерывности бизнеса, отказоустойчивости ИТ-инфраструктуры и кибербезопасности в единый процесс;
- Разработка сценариев реагирования на инциденты и оценка рисков снижения киберустойчивости;
- Проведение учений и тренировок персонала;
- Внедрение единой системы управления инцидентами;
- Разработка и мониторинг планов развития методов и средств обеспечения киберустойчивости.

Такой комплексный подход позволит создать эффективную систему защиты, где все компоненты будут работать согласованно, обеспечивая высокий уровень киберустойчивости организации.

Полученные результаты

В процессе проведенного исследования была осуществлена детальная оценка современных методик и моделей, применяемых для измерения интегрального индекса киберустойчивости, включающего параметры

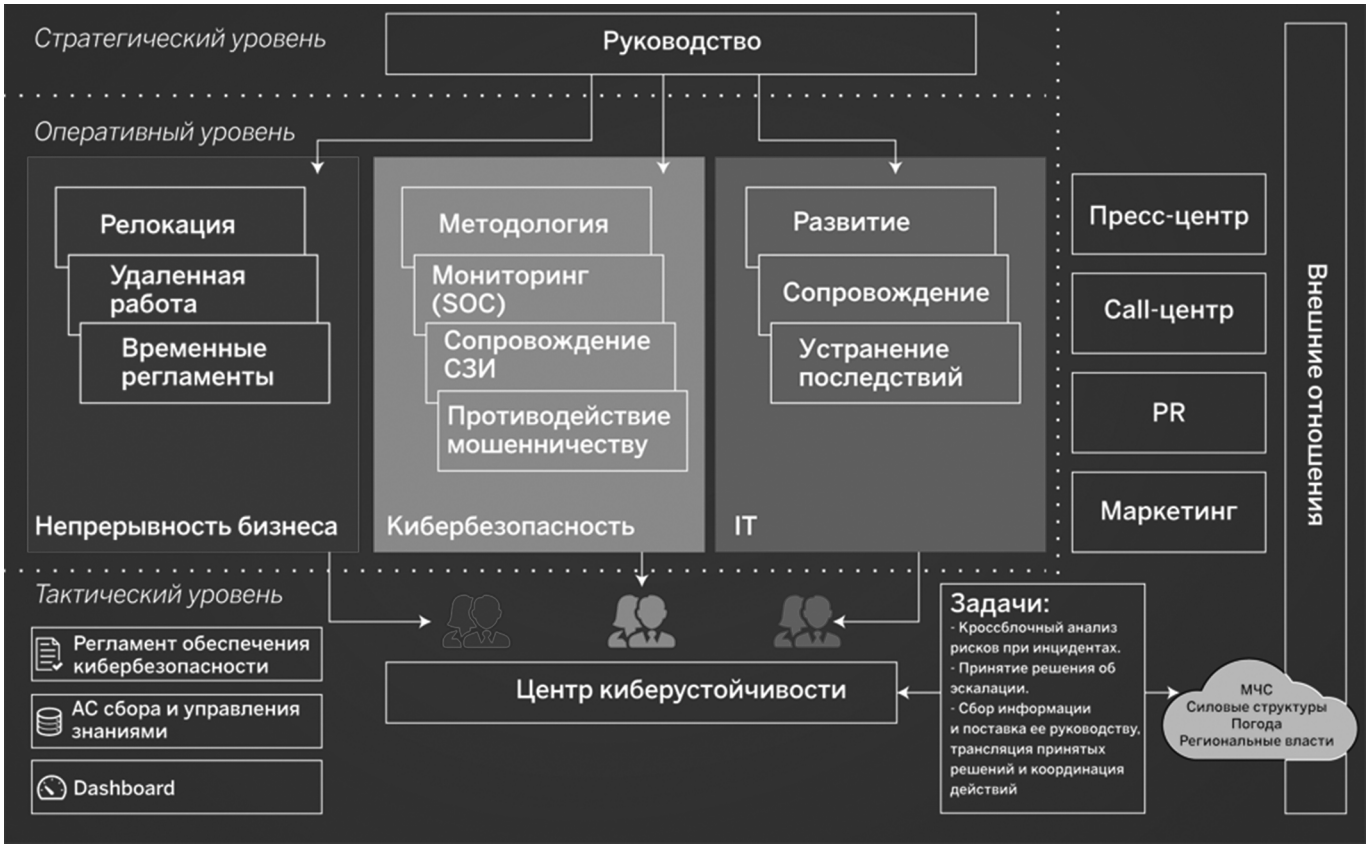


Рис. 6. Структурная схема центра киберустойчивости

кибербезопасности, отказоустойчивости и бизнес-непрерывности.

Результаты анализа продемонстрировали отсутствие единой признанной методологии для оценки киберустойчивости. На сегодняшний день исследования в данной области носят разрозненный характер и охватывают лишь отдельные аспекты проблемы.

В ходе работы были определены фундаментальные принципы обеспечения киберустойчивости и составлен подробный план необходимых мероприятий. Предложен комплекс технических и организационных решений, охватывающих административные, технические, программно-аппаратные и этические аспекты. Разработаны конкретные подходы к реализации мер безопасности как до, так и после кибератак на инфраструктуру [13–14].

Отдельные разработчики предлагают систему метрик, основанную на штрафных баллах для вычисления общего уровня защищенности. При этом более высокая киберустойчивость коррелирует с меньшим количеством штрафных очков.

Доказана необходимость создания специализированного центра киберустойчивости, который будет координировать все функции по обеспечению безопасности организации. Особое внимание заслуживает работа российской компании Innostage, где ведется разработка уникального фреймворка для оценки киберустойчивости. Данный инструмент предусматривает структурированное описание процессов и стандартизацию процедур оценки уровня киберустойчивости с последующим сравнением полученных результатов с базовыми, стандартными показателями и эталонными тестами.

Заключение

В настоящее время активно ведется работа по созданию и обоснованию систем количественных показателей. Без наличия четких числовых критериев становится невозможным проводить сравнительный анализ, оптимизировать рабочие процессы и принимать эффективные меры для достижения желаемого состояния организации.

Проведенный анализ показал существенные пробелы в существующих методиках: отсутствуют четко проработанные метрики, критерии и показатели для полноценного анализа и оценки уровня киберустойчивости компании. Для решения этой актуальной задачи необходима разработка специального математического инструментария, который позволит создать эффективные модели оценки киберустойчивости и выработать оптимальные управленческие решения в данной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кибербезопасность 2022–2023. Тренды и прогнозы [Электронный ресурс]. -Российский рынок кибербезопасности может вырасти в 2,5 раза к 2026 году. [Электронный ресурс]. -NIST Releases SP 800-160 Vol. 2: Developing Cyber Resilient Systems — A Systems Security Engineering Approach [Электронный ресурс]. Режим доступа https://csrc.nist.gov/News/2019/sp-800-160-vol2-developing cyber-resilient-systems (дата обращения: 25.12.2024).
2. ГОСТ Р 53647.2–2009 Менеджмент непрерывности бизнеса. Часть 2. Требования.
3. Богомаз М. Отказоустойчивая IT инфраструктура: принципы и способы организации [Электронный ресурс] https://timeweb.cloud/tutorials/servers/otkazoustojchivaya-it-infrastruktura?ysclid=m60vpzcbz672207437 (дата обращения: 04.03.2025).
4. Модель управления устойчивостью CERT Resilience Management Model [Электронный ресурс]. Режим доступа: ttps://insights.sei.cmu.edu/library/cert-resilience-managementmodel-cert-rmm-version-12/ (дата обращения: 12.04.2025).
5. Методика оценки киберустойчивости / Труды 7-й международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD-2013, Москва). М.: ИПУ РАН, 2013. Т. II. С. 193–200
6. Методика оценки защищенности организаций от кибератак [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pt-rezbez.storage.yandexcloud.net/Metodika_oczenki_zashhishhennosti_organizaczij_ot_kiberatak_666990ec6a.pdf (дата обращения: 12.04.2025).
7. Обзор MaxPatrol Carbon, российского навигатора по киберустойчивости [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.anti-malware.ru/reviews/MaxPatrol-Carbon (дата обращения: 12.04.2025).
8. Новиков И. Innostage разрабатывает методику оценки киберустойчивости компаний [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.anti-malware.ru/analytics/ Technology_Analysis/Innostage-Cyber-Resilience (дата обращения: 12.04.2025).
9. Маркин Д. Киберустойчивость — что это такое и как ее достичь? Банковское обозрение. №10 (237)/2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа https://bosfera.ru/bo/kiberustoychivost-chto-eto-takoe-i-kak-ee-dostich (дата обращения: 12.04.2025).
10. Петров Л.Ф. Нелинейные модели в экономических и социальных исследованиях. Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2022;(4):23-31. https://doi.org/10.21686/2413-2829-2022-4-23-31
11. Суздальский Д.А. Применение нечетких когнитивных карт в условиях принятия решений для обеспечения информационной безопасности / Д.А. Суздальский // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2024. — № 3. — С. 113–117. — DOI 10.37882/2223–2966.2024.03.33. — EDN GZXDKL.
12. Суздальский Д.А. Оптимизация оценки риска для поддержки принятия решений с использованием интеллектуальной модели, основанной на нечетких логических выводах возобновляемых правил / Д.А. Суздальский // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2024. — № 6. — С. 121–127. — DOI 10.37882/2223–2966.2024.06.36. — EDN DEIZSW.

© Суздальский Дмитрий Андреевич (ya.jummer@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.43

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КИБЕРУСТОЙЧИВОСТИ

SUBSTANTIATION OF THE EXPEDIENCY OF ASSESSING THE SECURITY OF INFORMATION INFRASTRUCTURE BASED ON A COMPREHENSIVE CYBER RESILIENCE INDICATOR

D. Suzdalsky

Summary. The article substantiates the expediency of assessing the security of the information infrastructure based on a comprehensive cyber resilience indicator, analyzes the problem of creating a reliable enterprise information system capable of stable operation even with regular cyber-attacks. The concepts of cyber resilience and cybersecurity are discussed in detail, and key aspects of their practical application are described. The paper discusses in detail the basic principles, objectives, specific tasks, and tools necessary to ensure the sustainable functioning of information systems. Special attention is paid to the study of official documents that define the relationship between such concepts as cyber resilience, cybersecurity, business continuity and system fault tolerance. The study found that cyber resilience issues are a complex interdisciplinary field that requires an integrated approach to solving many interrelated tasks. An important conclusion of the work is that there is currently no universal methodological approach to ensuring cyber resilience, which would include a complete set of necessary methods, models, and algorithms for effective protection of information systems.

Keywords: cybersecurity, functional resilience, business continuity. cyber resilience.

Суздальский Дмитрий Андреевич
аспирант,
Российский Экономический Университет, г. Москва
ya.jummer@yandex.ru

Аннотация. В статье обоснована целесообразность оценки безопасности информационной инфраструктуры на основе комплексного показателя киберустойчивости, анализируется проблема создания надежной информационной системы предприятия, способной стабильно работать даже при регулярных кибератаках. Подробно разбираются понятий киберустойчивости и кибербезопасности, а также описывают ключевые аспекты их практического применения. В работе детально рассматриваются базовые принципы, целевые установки, конкретные задачи и инструменты, необходимые для обеспечения устойчивого функционирования информационных систем.
Особое внимание уделяется изучению взаимосвязи между такими понятиями как киберустойчивость, кибербезопасность, непрерывность бизнес-процессов и отказоустойчивость систем.
В ходе исследования установлено, что вопросы киберустойчивости представляют собой комплексную междисциплинарную область, требующую комплексного подхода к решению множества взаимосвязанных задач.

Ключевые слова: кибербезопасность, функциональная устойчивость, непрерывность бизнеса, киберустойчивость.

Введение

В области информационной защиты наблюдается существенная смена терминологии: привычные термины информационной безопасности активно заменяются понятиями кибербезопасность и киберустойчивость.

Данный сдвиг в терминологии связан с возрастающей значимостью защиты цифровых систем — от малых локальных сетей до глобальной интернет-структуры. Добавление префикса «кибер-» подчеркивает непосредственную связь с цифровыми технологиями и виртуальной средой.

Кибербезопасность представляет собой многоуровневую защиту информационных систем от разнообразных угроз, которые могут исходить как от внешних, так и от внутренних источников в организации. Профессиональному сообществу необходимо решить две ключевые задачи: во-первых, упорядочить новую терминологию, во-вторых, обеспечить корректное понимание и эффективное использование этих терминов специалистами по информационной защите.

Для достижения этих целей требуется не просто обновление профессиональной терминологии, но и четкое определение места новых понятий в работе экспертов по информационной безопасности. Анализ направлен на доказательство необходимости оценки комплексного показателя киберустойчивости, включающего аспекты кибербезопасности, отказоустойчивости и непрерывности бизнес-процессов, рисунок 1.

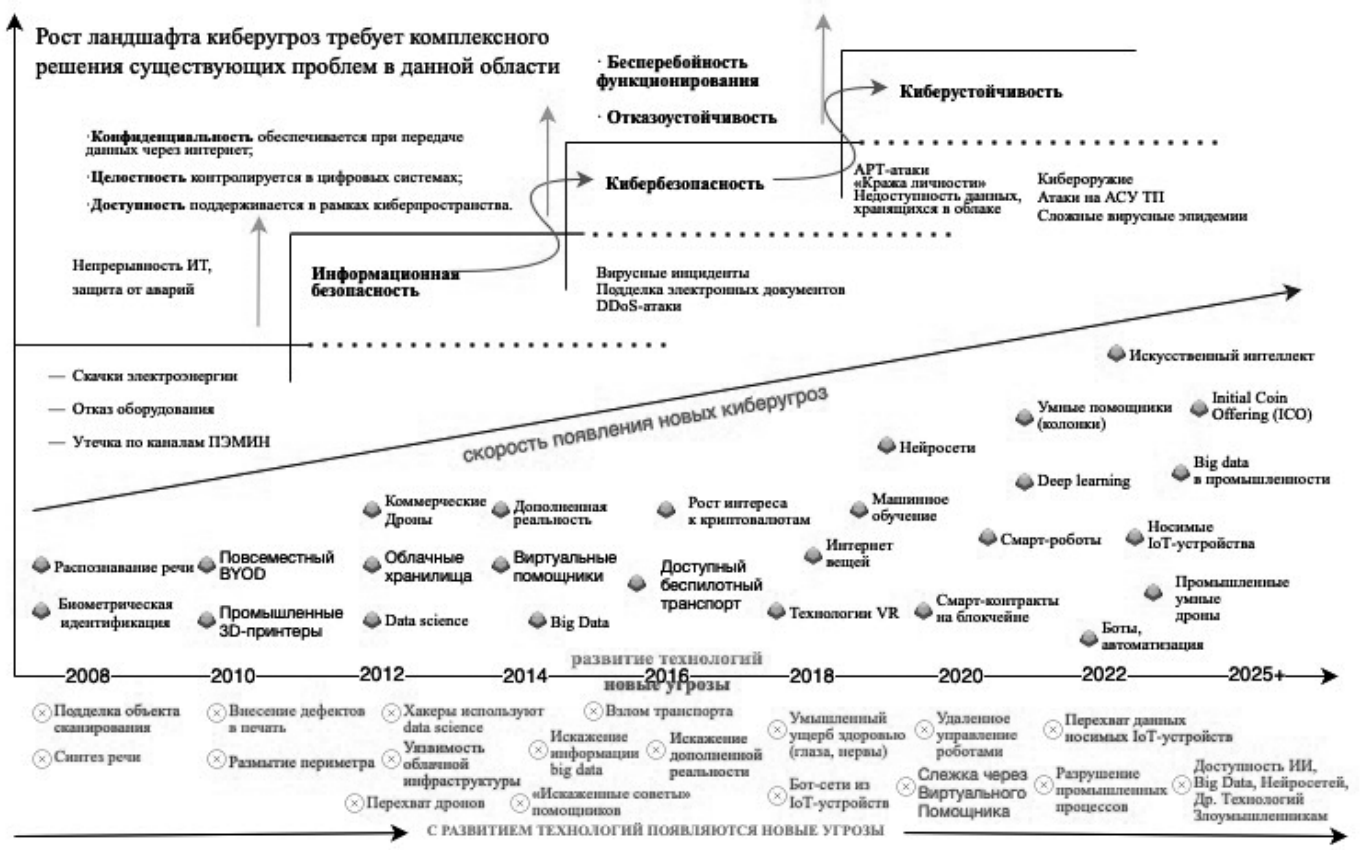


Рис. 1. Изменение ландшафта киберугроз

Киберпространство рассматривается как триединая система, объединяющая информацию, техническую инфраструктуру, программное обеспечение и процессы информационного взаимодействия между участниками. Киберустойчивость определяется как мультидисциплинарное направление, для которого разработана специальная методология, включающая конкретные цели, задачи и практические мероприятия по ее реализации.

Цель анализа обосновать целесообразность оценки комплексного показателя киберустойчивости (показатели кибербезопасности, отказоустойчивости и непрерывности бизнеса).

Киберустойчивость как междисциплинарное направление

Согласно международному стандарту ISO 27032 «Кибербезопасность — Руководство по безопасности в Интернете» (2023 год), существует четкая взаимосвязь между понятиями информационной безопасности и кибербезопасности [3].

Кибербезопасность определяется как один из компонентов более широкой области информационной безопасности. Её основная задача заключается в защите различных субъектов — от отдельных людей до целых государств — от различных киберугроз. Достигается это путем эффективного управления киберрисками и поддержания их на допустимом уровне.

Таким образом, кибербезопасность можно рассматривать как специализированное направление в рамках информационной безопасности, которое фокусируется именно на защите от цифровых угроз в онлайн-пространстве, в то время как информационная безопасность охватывает более широкий спектр защитных мер в отношении информации и информационных систем, рисунок 2. Кибербезопасность и информационная безопасность имеют существенные различия в области применения своих принципов.

Если информационная безопасность обеспечивает комплексную защиту информации во всем информационном пространстве, где происходит её создание, преобразование, передача и использование, то кибербезопасность фокусируется исключительно на защите в рамках киберпространства.

Основные принципы защиты информации (конфиденциальность, целостность и доступность) в случае кибербезопасности реализуются только в цифровой среде. Это означает, что:

- Конфиденциальность обеспечивается при передаче данных через интернет;
- Целостность контролируется в цифровых системах;

- Доступность поддерживается в рамках киберпространства.

В то время как информационная безопасность охватывает более широкий спектр: защиту бумажных носителей; физическую защиту информационных систем; контроль доступа к информационным ресурсам вне цифровой среды; защиту при непосредственном обмене информацией между людьми.

Таким образом, кибербезопасность является специализированным направлением в структуре информационной безопасности, сфокусированным исключительно на защите информации в цифровой среде [1].

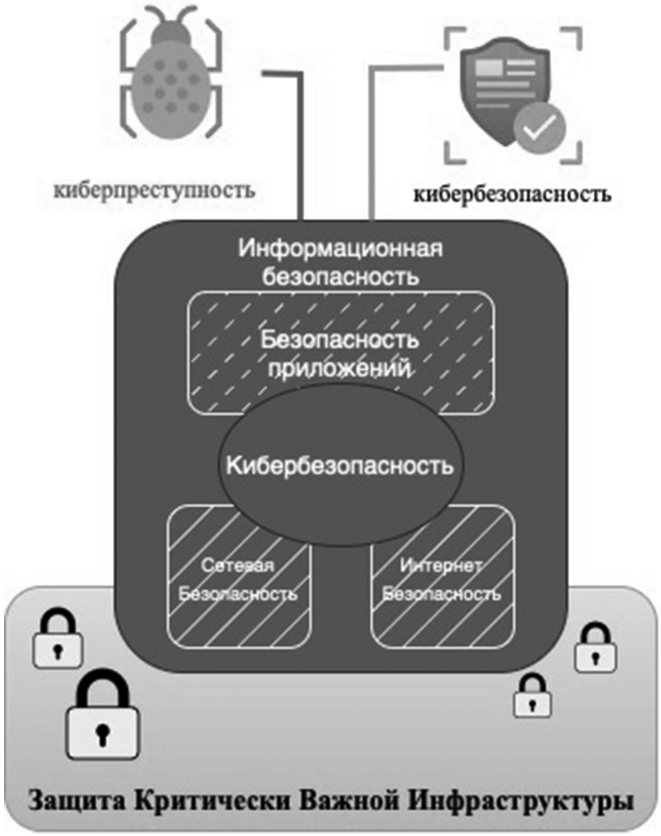


Рис. 2. Взаимосвязи между информационной безопасностью и кибербезопасностью

Киберпространство представляет собой особую сферу деятельности в рамках более широкого информационного пространства. Это комплексная система, которая включает в себя несколько ключевых компонентов:

- Коммуникационные каналы — интернет и другие телекоммуникационные сети, обеспечивающие передачу информации;
- Технологическая инфраструктура — все технические средства и системы, необходимые для функционирования коммуникационных каналов;
- Человеческая активность — любые формы деятельности пользователей, организаций и государства, осуществляемые через цифровые каналы связи.

Важно отметить, что киберпространство охватывает не только технические аспекты (сети и оборудование), но и всю совокупность действий, которые люди, организации и государственные структуры осуществляют в цифровой среде. Это делает его уникальной средой, где происходит взаимодействие между различными участниками информационного обмена.

Таким образом, киберпространство можно рассматривать как цифровую экосистему, объединяющую технические возможности и человеческую деятельность в едином информационном пространстве.[4].

Киберпространство как сложная система состоит из трех взаимосвязанных компонентов:

1) Информационный компонент включает: данные в цифровом формате; цифровые документы и файлы; электронные сообщения; мультимедийный контент; базы данных.
2) Технический компонент охватывает: физическую инфраструктуру (серверы, сети, каналы связи); информационные технологии; программное обеспечение; вычислительные системы; сетевое оборудование.
3) Социальный компонент представляет: информационное взаимодействие между пользователями; коммуникационные процессы; цифровые сервисы и платформы; электронное документооборот; виртуальные сообщества.

Все эти компоненты образуют единую экосистему, где информация циркулирует между участниками, техническая инфраструктура обеспечивает её передачу и обработку, а социальное взаимодействие определяет цели и способы использования информационных ресурсов. Важно понимать, что эти компоненты неразрывно связаны между собой. Без технической инфраструктуры невозможно существование информации в цифровом виде. Без информационного наполнения техническая инфраструктура теряет смысл. Без социального компонента отсутствует цель создания и использования киберпространства.

Таким образом, киберпространство представляет собой целостную систему, где все компоненты взаимосвязаны и взаимозависимы, образуя единую среду для цифрового взаимодействия.

Иными словами, киберпространство представляет собой триаду: информацию; техническую инфраструктуру, информационные технологии, программное обеспечение и информационное взаимодействие субъектов, рисунок 3.

Согласно международному стандарту [5] составляющими кибербезопасности являются: Интернет-безопас-

ность, включающая Веб-безопасность и Сетевая безопасность, рисунок 4.

Интернет-безопасность представляет собой комплекс мер, направленных на обеспечение безопасного и надежного предоставления услуг законным пользователям сети. Это более широкое понятие, охватывающее все аспекты защиты при работе в интернете.

Веб-безопасность является частью интернет-безопасности и фокусируется на обеспечении безопасного доступа к зарегистрированным общедоступным URL-



Рис. 3. Триада киберпространства

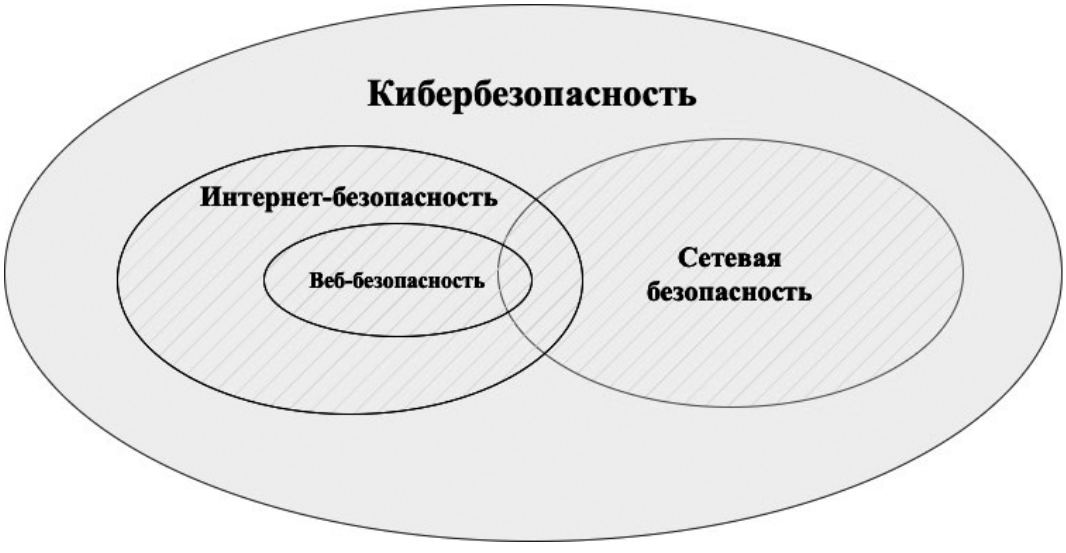


Рис. 4. Составляющие кибербезопасности

адресам через HTTP-соединение. Существует несколько основных методов передачи данных: веб-браузеры — основной инструмент для доступа к веб-сайтам через HTTP/HTTPS протоколы; электронная почта — система обмена сообщениями между пользователями; FTP (File Transfer Protocol) — протокол передачи файлов; мессенджеры — сервисы мгновенного обмена сообщениями. HTTP-соединение является основным каналом передачи данных в вебе.

Для обеспечения безопасности используются следующие механизмы: SSL/TLS-шифрование — защита передаваемых данных; аутентификация — проверка подлинности пользователей; авторизация — контроль доступа к ресурсам; защита от атак — предотвращение различных видов угроз. Целостность данных — обеспечение неизменности передаваемой информации.

Веб-безопасность играет критически важную роль в современном интернете, поскольку большинство онлайн-сервисов и приложений используют веб-технологии для взаимодействия с пользователями.

Сетевая безопасность представляет собой комплекс мер, направленных на защиту компьютерных сетей и информации от различных угроз. Она охватывает все типы сетей, существующих в организации: локальные сети (LAN); глобальные сети (WAN); персональные сети (PAN); беспроводные сети (WLAN). Основные задачи сетевой безопасности:

- Предотвращение несанкционированного доступа в сеть;
- Своевременное обнаружение угроз (вредоносные программы, аномальная активность);
- Эффективное реагирование на инциденты безопасности;
- Защита данных от утечки;
- Обеспечение целостности информации.

Ключевые принципы защиты:

- Многоуровневая защита — создание нескольких слоев обороны против злоумышленников;
- Минимальные права доступа — пользователи и программы получают доступ только к необходимым ресурсам;
- Регулярные обновления — своевременное обновление программного обеспечения для устранения уязвимостей;
- Постоянный мониторинг — контроль событий в сети.

Основные технологии защиты:

- Межсетевые экраны (firewall) для фильтрации трафика;
- VPN-технологии для создания защищенных каналов связи;
- Шифрование данных для защиты передаваемой информации;
- Системы контроля доступа для разграничения прав пользователей;
- Мониторинг уязвимостей для выявления и устранения слабых мест.

Правильная организация сетевой безопасности позволяет защитить корпоративные данные от кибератак, предотвратить финансовые потери, сохранить репутацию компании, снизить риски юридических последствий, обеспечить бесперебойную работу IT-инфраструктуры.

Организационные меры:

- Обучение персонала правилам кибербезопасности;
- Создание команды реагирования на инциденты;
- Разработка политики безопасности;
- Проведение регулярных аудитов безопасности;
- Тестирование на проникновение (пентесты).

Комплексная реализация всех перечисленных мер позволяет создать надежную систему защиты сетевой инфраструктуры организации от современных киберугроз.

Кибербезопасность обеспечивает защиту от кибератак, под которыми понимается попытка выведения компьютерной системы из строя или хищения информации за счёт уязвимостей в технических средствах или программном обеспечении. Примеры наиболее распространенных кибератак представлены в Библиотеке знаний по кибербезопасности «Кибрарий» [5]: заражение вредоносным программным обеспечением (ПО); DDoS-атаки; фишинг; атаки на цепочку поставок; атаки «человек посередине»; целевые атаки и др. внешних воздействий. Киберустойчивость представляет собой способность информационных систем осуществлять свое штатное (целевое) функционирование в условиях воздействия компьютерных атак в киберпространстве. В терминах общей теории управления кибератаки представляют собой возмущающее воздействие, система управления объектом должна компенсировать эти возмущения, а в целом (объект + система управления) должны обладать устойчивостью к этим возмущениям, т.е. быть киберустойчивыми (cyber resistant).

В одной из первых отечественных фундаментальных работ, посвященной киберустойчивости цифровой экономики [6] дается следующее определение киберустойчивости с учетом целеполагания защищаемой кибернетической системы — Киберустойчивость (Cyber Resilience) —«способность киберсистемы, функционирующей по определенному алгоритму, достигать цели функционирования в условиях информационно-технических воздействий злоумышленников». В документе

«Разработка киберустойчивых систем: подход к инженерии системной безопасности» Национального института по стандартизации и технологиям США [7] представлено схожее определение. Под киберустойчивостью понимается «способность предвидеть, противостоять, восстанавливаться и адаптироваться к нагрузкам, атакам или компрометациям систем, которые используют или активируются киберресурсами». Необходимо учитывать, что киберустойчивость — это не разовое достижение определенного состояния, а непрерывный процесс совершенствования защитных механизмов и адаптации к постоянно меняющемуся ландшафту киберугроз.

В англоязычной литературе употребляются термины Cyber Resilience или Cyber Sustainability. Киберустойчивости посвящено значительное количество работ. В настоящее время в условиях высокого уровня киберугроз требуется обеспечение не только безопасного, но непрерывного и устойчивого функционирования информационной инфраструктуры. В современных условиях проблема киберустойчивости информационных систем становится все более значимой областью исследований. Это обусловлено необходимостью не просто обеспечить безопасность информационных систем, но гарантировать их непрерывное и устойчивое функционирование даже при высоком уровне киберугроз.

Особую актуальность данному направлению придает поддержка на государственном уровне. Это подтверждается включением задач по обеспечению киберустойчивости в:

- Национальный проект «Цифровая экономика»;
- Новый Национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства»;

Федеральный проект «Инфраструктура кибербезопасности» направлен на решение критически важных задач по обеспечению киберустойчивости цифровых платформ и экосистем, что особенно важно в условиях массированных и разнородных кибератак со стороны злоумышленников.

Существует ряд фундаментальных причин, обуславливающих необходимость развития данного направления:

- Структурная сложность современных информационных систем;
- Функциональная сложность интегрированных решений;
- Наличие потенциальных уязвимостей и «спящих» аппаратно-программных закладок;
- Недостаточная эффективность существующих моделей и методов обеспечения кибербезопасности;
- Ограниченность применяемых средств защиты информации.

Все эти факторы создают необходимость в разработке новых подходов к обеспечению киберустойчивости информационных систем и требуют комплексного решения существующих проблем в данной области. В работе [6] показано, что киберустойчивость представляет собой мультидисциплинарное направление, которое охватывает самые разные предметные области, рисунок 5.

В рамках решения задач управления информационными рисками выделяют три ключевых задачи управления киберустойчивостью:

- Кибербезопасность — защита информационных активов от цифровых угроз и несанкционированного доступа;
- Отказоустойчивость — способность информационной инфраструктуры сохранять работоспособность при сбоях и отказах;
- Непрерывность бизнеса — обеспечение бесперебойной работы организации при различных инцидентах.

Отказоустойчивость является технической основой киберустойчивости и включает резервирование критически важных систем, дублирование каналов связи, автоматическое переключение на резервные мощности, мониторинг состояния инфраструктуры. Проблематика отказоустойчивости имеет прямое отношение к реализации бизнес-процессов компании. Конечные сервисы должны быть гарантированно доступны пользователю вне зависимости от того, что произошло с оборудованием. Т.е. отказоустойчивость — способность информационной системы сохранять работоспособность при выходе из строя отдельных компонентов или подсистем. Основной принцип заключается в том, что конечные сервисы должны оставаться доступными для пользователей независимо от проблем с оборудованием. Основные метрики оценки отказоустойчивости системы: вероятность безотказной работы — вероятность того, что система проработает заданное время без сбоев; коэффициент готовности — отношение времени бесперебойной работы к общему времени эксплуатации; среднее время между отказами — период между сбоями системы; среднее время восстановления — время, необходимое для устранения сбоя.

Система отказоустойчивости охватывает: отдельные компоненты — серверы, сетевые устройства, системы хранения данных; подсистемы — базы данных, приложения, сетевые сервисы; инфраструктура в целом — все элементы IT-системы предприятия. Основные механизмы обеспечения отказоустойчивости [7]:

- Резервирование компонентов — дублирование критически важных элементов системы;
- Кластеризация — объединение нескольких серверов для обеспечения непрерывной работы;
- Репликация данных — создание копий информации на разных носителях;



Рис. 5. Киберустойчивость как мультидисциплинарное направление

- Мониторинг состояния — постоянный контроль работоспособности всех элементов;
- Автоматическое переключение — мгновенный переход на резервные системы при сбоях.

Эффективная система отказоустойчивости обеспечивает: непрерывность бизнес-процессов; защиту критически важной информации; поддержание репутации компании; снижение финансовых потерь от простоев; соответствие требованиям регуляторов.

Под непрерывностью бизнеса согласно стандарту [8] понимают стратегическую и тактическую способность организации планировать свою работу в случае возникновения инцидентов и нарушений деятельности. Основная цель — обеспечение непрерывности деловых операций на установленном приемлемом уровне. Непрерывность бизнеса фокусируется на разработке планов восстановления деятельности, создании резервных площадок, подготовке персонала к действиям в кризисных ситуациях, тестировании планов восстановления. Ресурсы же, выделяемые на обеспечение непрерывности бизнеса, распределяются следующим образом:

- 60–80 % — организационные меры и разработка программы управления непрерывностью бизнеса
- 20–40 % — выбор и внедрение технических решений.

Менеджмент непрерывности бизнеса включает в себя идентификацию потенциальных угроз, разработку эффективных ответных мер, защиту интересов ключевых заинтересованных сторон, поддержание репутации организации, обеспечение восстановления деятельности. План обеспечения непрерывности бизнеса должен содержать документированные процедуры реагирования на инциденты, механизмы поддержания критически важных видов деятельности, сроки восстановления основных бизнес-процессов, учет потребностей вовлеченного персонала.

Таким образом для обеспечения надежной защиты современных организаций необходимо рассматривать киберустойчивость как многогранную проблему, требующую системного подхода. Три столпа киберустойчивости формируют основу комплексной защиты:

1) Защита информационных активов направлена на противодействие цифровым угрозам и включает:
- Создание многоуровневой системы защиты данных;
- Контроль доступа к информационным ресурсам;
- Защиту от вредоносного программного обеспечения;
- Обеспечение конфиденциальности передаваемой информации.

2) Надежность инфраструктуры обеспечивает бесперебойную работу систем через:
- Создание резервных мощностей;
- Разработку процедур восстановления после сбоев;
- Проведение регулярных стресс-тестов;
- Автоматизацию процессов реагирования на инциденты;
- Подготовку персонала к действиям в нештатных ситуациях.

3) Стабильность бизнес-функционирования гарантирует непрерывность работы организации посредством:
- Формирования стратегий управления рисками;
- Создания планов восстановления деятельности;
- Обеспечения постоянного информационного обмена;
- Защиты и регулярного резервирования данных;
- Поддержания высокого качества услуг.

Критерии оценки эффективности системы киберустойчивости должны учитывать:

- Скорость восстановления после нарушений;
- Процент предотвращенных кибератак;
- Количество устраненных уязвимостей;
- Эффективность работы систем резервирования;
- Уровень компетентности сотрудников в вопросах безопасности;
- Реализацию планов по обеспечению непрерывности работы.

Такой интегрированный подход позволяет не только своевременно выявлять и устранять угрозы, но и обеспечивать долгосрочную стабильность функционирования организации в условиях динамично развивающегося цифрового пространства. Регулярный мониторинг показателей и их корректировка в соответствии с изменяющейся обстановкой является ключевым фактором успешной реализации стратегии киберустойчивости.

Полученные результаты

В ходе исследования выявлена ключевая проблема современной кибербезопасности — отсутствие четких количественных показателей и метрик для оценки уровня киберустойчивости. Специалисты сталкиваются с необходимостью перехода от общих требований к конкретным измеримым параметрам, что становится все более актуальным в современных условиях. Отсутствие количественных оценок создает серьезные препятствия для сравнения различных систем безопасности, оптимизации существующих процессов, планирования перехода от текущего состояния к целевому.

Заключение

Киберустойчивость представляет собой комплексное понятие, включающее три основные составляющие: кибербезопасность, непрерывность бизнеса, отказоустойчивость

Обеспечение непрерывности бизнеса требует:

- Организационных мер — 60–80 %;
- Технических мер — 20–40 %.

Технические меры направлены на обеспечение функциональной устойчивости и отказоустойчивости информационной инфраструктуры. Проблематика киберустойчивости является междисциплинарным направлением, требующим решения взаимосвязанных задач. При этом на текущий момент отсутствует единая методология, включающая совокупность методов, математические модели, алгоритмы обеспечения киберустойчивости. Это создает значительные сложности для практической реализации мер по обеспечению необходимого уровня кибербезопасности и устойчивости бизнес-процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кибербезопасность 2022–2023. Тренды и прогнозы [Электронный ресурс]. — 2023. — URL: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/ogo-kakaya-ib/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=83387165-search-cyber-keywords&utm_content=5134114004-13515166514&calltouch_tm=yd_c:83387165_gb:5134114004_ad:13515166514_ph:43371020357_st:search_pt:premium_p:1_s:none_dt:desktop_reg:213_ret:43371020357_apt:none&_openstat=ZGlyZWN0LnlhbmRleC5ydTs4MzM4NzE2NTsxMzUxNTE2NjUxNDt5YW5kZXgucnU6cHJlbWl1bQ&yclid=11017443921774510079#id1 (дата обращения 18.05.2024).
2. Российский рынок кибербезопасности может вырасти в 2,5 раза к 2026 году. [Электронный ресурс]. — 2022. — URL: https://www.vedomosti.ru/business/news/2022/08/02/934195-rossiiskii-rinok-kiberbezopasnosti-mozhet-virasti (дата обращения 18.05.2024).
3. Международный стандарт ISO-IEC-27032–2023 Кибербезопасность — Руководство по безопасности в Интернете [Электронный ресурс] Режим доступа https://cdn.standards.iteh.ai/samples/76070/be57667fdd0b432490c253ca538c9938/IS O-IEC-27032-2023.pdf (Дата обращения 4.03.2025).
4. Проект концепции стратегии кибербезопасности РФ [Электронный ресурс] http://council.gov.ru/media/files /41d4b3dfbdb25cea8a73.pd (Дата обращения 4.03.2025).
5. Библиотека знаний по кибербезопасности «Кибрарий» [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.sberbank.ru/ru/person/kibrary/vocabulary/kiberataka (Дата обращения 4.03.2025).
6. Петренко С.А. Киберустойчивость цифровой экономики. Как обеспечить безопасность и непрерывность бизнеса. — СПб.: Питер, 2021. — 384 с.
7. NIST Releases SP 800-160 Vol. 2: Developing Cyber Resilient Systems — A Systems Security Engineering Approach [Электронный ресурс]. Режим доступа https://csrc.nist.gov/News/2019/sp-800-160-vol2-developing cyber-resilient-systems (дата обращения: 25.12.2024).
8. ГОСТ Р 53647.2–2009 Менеджмент непрерывности бизнеса. Часть 2. Требования.

© Суздальский Дмитрий Андреевич (ya.jummer@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.46

САМООБУЧАЕМОЕ ФОРМИРОВАНИЕ МЕТРИК КАЧЕСТВА ДАННЫХ ДЛЯ НЕИЗУЧЕННЫХ ПОТОКОВ

SELF-LEARNING FORMATION OF DATA QUALITY METRICS FOR UNEXPLORED STREAMS

K. Ulanov

Summary. The article is devoted to the problem of automatic quality control of «dark» data streams — Kafka topics, for which there is no reference markup and a pre-known scheme. The aim of the work is to develop a self—learning method for generating metrics for the quality of streaming data, capable of evaluating the reliability of unexplored events in real time without manual rules. A streaming algorithm is proposed in which a lightweight online encoder extracts features, a Boolean augmentation mask creates positive and negative examples, and a loss rank function is trained on the principle of self-learning ranking. On the NYC Taxi open set, the method was ahead of the rule-based tests, Isolation Forest and Deep SVDD: the P1000 increased to 0.74, and the error detection delay decreased to 32 seconds when loading 0.55 vCPU. The findings confirm that self-learning ranking is an effective and resource-saving framework for end-to-end data quality control in streaming systems.

Keywords: streaming data processing, data quality control, self-supervised learning, rank learning, Apache Kafka, unexplored streams.

Уланов Кирилл Анатольевич
аспирант, Московский государственный технологический университет «Станкин»
ulanovk08@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена проблеме автоматического контроля качества «тёмных» потоков данных — Kafka-топиков, для которых отсутствует эталонная разметка и заранее известная схема. Цель работы — разработать метод самообучаемого формирования метрики качества потоковых данных, способный в реальном времени оценивать достоверность неизученных событий без ручных правил. Предлагается потоковый алгоритм, в котором лёгкий онлайн-энкодер извлекает признаки, булева маска аугментаций создаёт позитивные и негативные примеры, а ранговая функция потерь обучается по принципу самообучающегося ранжирования. На открытом наборе NYC Taxi метод опередил rule-based тесты, Isolation Forest и Deep SVDD: P1000 выросла до 0,74, а задержка обнаружения ошибок сократилась до 32 с при загрузке 0,55 vCPU. Выводы подтверждают, что самообучающееся ранжирование является эффективной и ресурсосберегающей основой для сквозного контроля качества данных в потоковых системах.

Ключевые слова: потоковая обработка данных, контроль качества данных, self-supervised learning, ранговое обучение, Apache Kafka, неизученные потоки.

Введение

В условиях современного роста объёма оперативных данных, проходящих через стриминговые шины Apache Kafka, и обработчики Apache Flink, растёт экспоненциально. По оценкам аналитиков, в 2024 году количество активных Kafka-топиков, используемых бизнесом, превысило 10 миллионов, а ключевым трендом назвали data contracts, что сильно снижает порог подключения новых потоков данных без предварительного аудита качества [1].

Но переход к архитектурам «stream-first» обнаруживает важную проблему: больше половины поступающих сообщений остаются «тёмными данными» — то есть не попадают в каталоги или тесты валидации. Исследования говорят, что 60–85 % неструктурированных файлов и событий хранятся без какой-либо семантической метки или правил жизненного цикла [2]. При этом каждая ошибка в неизученном потоке данных способна мгновенно тиражироваться в аналитические витрины и модели машинного обучения, провоцируя каскад различных инцидентов.

Возрастание масштабов и стоимости ошибок заставила команды разработки и внедрения сместить контроль качества данных на более ранние стадии и одновременно обеспечить наблюдение за качеством данных на пререлизной и пострелизной стадии. Согласно обзору CNCF 2025, главным драйвером стала интеграция алгоритмов машинного обучения, способных автоматически выявлять и ранжировать аномалии в миллиардах потоков данных, логов и метрик [3]. Тем не менее существующие инструменты контроля качества данных (Great Expectations, Deequ, SodaSQL и др.) по-прежнему требуют явных правил и контрольных данных, что делает их неприменимыми к «неизученным» потокам без схем и разметки.

Гипотеза и цель исследования

Мы предполагаем, что самообучающееся ранжирование может заменить ручное создание метрик качества данных при работе с неизученными потоками. Ключевые наблюдения:

В задачах предварительной очистки данных метод SelfClean (NeurIPS 2024) показал, что комбинация

самоконтролируемых признаков и ранжирования по дистанциям позволяет без использования разметки детектировать до 16 % шумовых данных, приближая эффективность к ручной разметке ошибочных данных [4].

Исследования демонстрируют, что смещение оценки качества данных из задачи регрессии в задачу парного ранжирования улучшает обобщающую способность моделей [5].

Это позволяет выдвинуть гипотезу: если из скользящего окна потока данных формировать псевдо-позитивные и негативные пары, то модель ранжирования сможет автоматически выявлять релевантные признаки и вычислять интегральный показатель качества данных в режиме реального времени, не используя заранее заданных правил.

Целью статьи является разработка и верификация метода самообучаемого формирования метрик качества данных для неизученных потоков данных, основанного на самообучающемся ранжировании и интегрируемого в стек Apache Kafka.

Анализ современного состояния проблемы

Для подробного исследования нам необходимо рассмотреть существующие методы по оценке качества потоков данных.

Обзор стандартных фреймворков контроля качества данных

Great Expectations. Фреймворк изначально строился вокруг пакетной обработки данных: пользователю необходимо подготовить «партию» данных, задать ожидания и выполнить валидацию. Поддержка потоков реализуется только в виде «микропакетов» либо собственных адаптеров Kafka/Flink, причём необходимо вручную сформулировать проверки для каждой новой схемы или окна — что принципиально не решает задачу «неизученных» потоков, где заранее нет информации о схеме [6].

Amazon Deequ. Библиотека, встроенная в Spark, автоматически выводит кандидатов-метрик и проверяет их на следующих партиях данных. Несмотря на то, что Spark Structured Streaming допускает инкрементальный расчёт, Deequ фиксирует состояние метрик и потребляет поток серии микропакетов. Для каждой колонки требуется явное правило, то есть при появлении неизвестного столбца система выдаст ошибку [7–8].

Evidently AI. Изначально инструмент создавался для мониторинга моделей машинного обучения. Во «встроенном» модуле Data Drift сравнивается текущий поток признаков с эталонным распределением и сигнализирует о статистических сдвигах. Однако при отсутствии эталонных данных Evidently не может подтвердить сам факт ошибок, а лишь покажет «подозрительное» отличие [9–10].

Современные фреймворки качества данных предоставляют богатый инструментарий для детерминированных схем, но общим ограничением остаётся предпосылка «известной» структуры и/или наличия эталонных данных. В контексте потоков реальных данных число таких «неизученных» топиков ежегодно растёт, а быстро писать проверки вручную невозможно. Следовательно, нужен подход, где метрика формируется напрямую из потока без внешней разметки и постоянного обновления правил.

Самообучающиеся подходы к потоковым данным

Парадигма самообучающихся представлений кажется очень подходящей. Модель извлекает информативные признаки из неразмеченных данных, постепенно генерируя псевдо-задачу. В компьютерном зрении лидируют SimCLR, MoCo, BYOL; в последние два года эти идеи активно переносятся на временные ряды.

SimCLR (Simple Framework for Contrastive Learning of Visual Representations). Метод обучения представлений, разработанный исследователями из Google Research. Метод позволяет обучать нейросетевую модель, извлекать полезные признаковые представления изображений без применения размеченных данных, что особенно важно в условиях ограниченного количества размеченных примеров. SimCLR основывается на контрастивном обучении. Целью является сближение векторных представлений (эмбеддинги) похожих объектов (положительных пар) и отдаление представлений непохожих объектов (отрицательных пар).

Для применения метода к временным рядам требуются доменно-специфичные аугментации. Исследование TS-TCC показало, что модели на основе SimCLR уступают CPC/TS-TCC при учёте временной структуры [11].

BYOL (Bootstrap Your Own Latent) — это метод самообучения без использования контрастивной функции потерь и без необходимости в отрицательных примерах, в отличие от SimCLR. Основная идея BYOL: модель может научиться полезным признаковым представлениям, просто сравнивая свои собственные прогнозы с собой — без явного сопоставления с другими образцами. Особенностями применения к временным рядам является то, что метод экономит память. Метод устойчив к ситуации, когда модель теряет разнообразие векторных представлений и «схлопывает» всё в одно (или очень похожие) представления, но на ранних этапах требует длинного окна стабилизации, что усложняет вычисления в реальном времени [12].

RankSim. Метод, относящийся к классу ранговых подходов. Его ключевая идея — использовать структуру относительных расстояний между представлениями, а не сами представления напрямую. Изначально метод был предложен для несбалансированных регрессионных задач. Современные версии (W-RankSim, Rank-Me) показывают, что ранговые регуляризаторы устойчивы к микропакетной обработке и могут дать интегральную оценку качества данных без явной разметки [13–14].

Заметно развивается линия работ TS2Vec, TF-C и Dynamic Contrastive Learning, где контекстно-зависимые позитивы формируются по спектру частот или множеству временных масштабов, обеспечивая лучшее обобщение на нестатичные ряды [15].

Контрастивные методы (SimCLR-семейство) демонстрируют высокую точность при богатом наборе доменных аугментаций, но чувствительны к размеру батча и числу негативных примеров. Предиктивные модели CPC/TS-TCC предсказывают будущее состояние ряда и потому устойчивы к сдвигу фаз, однако требуют рекуррентных/трансформерных энкодеров с высокой задержкой. Ранговые регуляризаторы (RankSim, Rank-Me) переводят оценку в порядковое пространство, что логично для задач качества данных. Тем не менее ни один из подходов не решает напрямую проблему построения метрики качества потока данных, который мог быть информативным для отслеживания «здоровья» потока данных.

Пробелы и открытые вопросы

Отсутствие унифицированного механизма метрики качества потока данных без разметки. Существующие подходы либо выводят латентное представление, либо возвращают суррогатные функции потерь, но не предоставляют нормированного показателя, сопоставимого, который можно сравнить между потоками;

Онлайн-адаптация при дрейфе концепта. Большинство методов обучаются офлайн; попытки инкрементального изменения параметров (например, EMA-обновление в BYOL) недостаточно изучены на потоках реального времени;

Интерпретируемость. Для инженерных команд важно понимать, какой признак привёл к срабатыванию. В контрастивных методах метрика — это скрытый косинус/ранг, который сложно явно интерпретировать без дополнительных средств обработки.

Тем самым формируется задача: объединить ранговый самообучающийся метод с легковесным онлайн-энкодером и вывести универсальную метрику качества потока данных, пригодный для потоковой обработки, автоматически адаптирующийся к дрейфу и интерпретируемый через важность признаков.

Постановка задачи

Рассмотрим бесконечный поток событий

$$S = \{x_t \in \mathbb{R}^{d_t} t \in \mathbb{N}\}, \quad (1)$$

поступающий из шины Apache Kafka и обрабатываемый с гарантией обработки строго один раз, даже в случае сбоев, перезапусков или повторной передачи данных. Мы называем такой поток неизученным, если перед моментом t=0 отсутствуют:

- декларативное описание схемы данных;
- эталонный набор данных или эталонный набор правил качества данных;
- историческая разметка истинности данных.

Пусть скользящее окно длиной w представлено формулой:

$$W_t = \{x_{t-w+1}, \ldots, x_t\}, \quad (2)$$

Требуется вычислять:

$$DQS(t) = g\left(\{s_\theta(x_i)\}_{x_i \in W_t}\right) \in [0,1], \quad (3)$$

где

онлайновость — g обновляется инкрементно, без перерасчёта всего временного окна;

нормированность — диапазон [0,1] обеспечивает пороговую интерпретацию;

монотонность по качеству — если две подпоследовательности совпадают;

сравнимость между потоками при различных схемах.

Определим оптимизация ранжирующей функции с псевдо-сигналом качества. Для каждого окна W_t формируем набор пар:

$$P_t = \{(x_i, x_j, y_{ij} = 1)\} \cup \{(x_i, x_k, y_{ik} = 0)\}, \quad (4)$$

где положительные примеры получаются слабыми аугментациями оригинального события, а отрицательные примеры получаются сильными трансформациями либо дальними во-времени точками, что эмпирически имитирует «искажённое» состояние данных [16–17].

Искомый скорер обучается минимизацией ранговой функции потерь:

$$\mathcal{L}_t(\theta) = \frac{1}{|P_t|} \sum_{(u,v,y) \in P_t} \begin{bmatrix} y\sigma(1 - s_\theta(u) + s_\theta(v)) + \\ +(1-y)\sigma(1 + s_\theta(u) - s_\theta(v)) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где σ — гладкая аппроксимация шарнирная функция потерь.

Финальный показатель качества определяется как:

$$DQS(t) = \frac{1}{w} \sum_{x_i \in W_t} \Phi\left(s_\theta(x_i)\right), \quad (6)$$

где Φ — сигмоидальный коэффициент масштабируемости.

Тем самым показатель качества потоковых данных — это агрегированный относительный ранг, инвариантный к абсолютным шкалам признаков.

Таким образом, формализована задача самообучаемой генерации метрики качества для неизученного потока с ограничениями в режиме реального времени, сводимая к оптимизации ранговой функции в скользящем.

Предлагаемый метод самообучающегося ранжирования

Предлагаемая система метрики качества данных построена по принципу микро-сервиса, на логическом состоит из четырёх взаимосвязанных модулей:

Онлайн-энкодер. Лёгкая 1-D архитектура Temporal Causal CNN + GRN кодирует каждый поступивший элемент $x_t \in R^{d_t}$ в латентное пространство $z_t \in R^h$ [18].

Модуль маскирующей аугментация. Для каждого x_t генерируется серия аугментированных копий [19].

Модуль парного сравнения. Параллельный двуслойный MLP со общими весами, вычисляющий скалярные скореры. На его выходе реализуется ранговая функция — ядро потерь оптимизируется по принципу RankSim [20].

Модуль агрегации. Инкрементальный подсчёт метрики качества данных выполняется на основе относительных рангов в скользящем окне W_t.

Подобная модульность упрощает замену энкодера или функции. Сформируем комплексной показатель качества потока данных. Скореры $s_\phi(x_i)$ отражают относительное доверие к отдельным элементам. Для перехода к метрике используется:

$$DQS(t) = \frac{1}{w} \sum_{x_i \in W_t} \sigma\left(\beta\left[s_\phi(x_i) - \mu_t\right]\right), \quad (7)$$

где μ_t — медиана скореров в окне W_t, β — коэффициент «контрастности». Такая нормировка обеспечивает:

Инвариантность к смещению: добавление константы не изменяет показатель качества потока данных.

Сравнимость потоков: значение всегда лежит в [0,1] благодаря сигмоиде.

Чувствительность к хвостам: при появлении кластера аномалий хвост распределения смещается, что резко уменьшает интегральный балл.

Экспериментальная часть

Для проверки работоспособности метода взят открытый поток NYC Taxi Trip Record 2019–2020–143 млн событий о поездках такси с восемью основными полями (время, координаты, стоимость и др.) [21]. Логи были проиграны в Kafka с ускорением в десять раз, что дало стабильную нагрузку порядка ста тысяч сообщений в секунду.

Сравниваемые решения

Для сравнения мы использовали Rule-based (GX) [22] — это метод, в котором модель обучается извлекать представления, основываясь на предопределённых, интерпретируемых правилах, описывающих закономерности или шаблоны поведения во временных данных; Isolation Forest [23] — это метод машинного обучения для обнаружения аномалий, основанный на изолировании выбросов с помощью случайных деревьев; Deep SVDD (Support Vector Data Description) [24] — метод обнаружения аномалий с использованием глубоких нейросетей, который обучает модель так, чтобы все нормальные данные сжимались внутрь компактной области в скрытом признаковом пространстве. В таблице 1 представлено краткое описание методов.

Таблица 1.

Методы для сравнения

Метод	Краткое описание
Предложенный метод	Предлагаемый самообучающийся ранжирующий метод
Rule-based (GX)	12 ручных проверок Great Expectations
Isolation Forest	100 деревьев, окно = 1024
Deep SVDD	Одноклассовая CNN-модель, дообучение каждые 10 000 записей

Сравнение проходило по трём метрикам. Точность P1000 — доля реальных ошибок среди первых 1000 срабатываний. Задержка обнаружения — среднее время между вводом искусственной ошибки и срабатыванием. Ресурсы — средняя загрузка процессора. В таблице 2 представлены значения метрик по каждому из методов.

Предложенный метод точнее rule-based на +31 п.п. и реагирует на ошибки почти в шесть раз быстрее. При этом он легче Deep SVDD по CPU в три. Бутстрап-тест подтвердил значимость разницы с Isolation Forest ($p < 0{,}01$).

Таблица 2.

Результаты сравнения

Метод	P1000	Задержка, с	CPU, vCPU
Rule-based	0,43	184	0,18
Isolation Forest	0,59	77	0,91
Deep SVDD	0,68	60	1,83
Предложенный метод	0,74	32	0,55

Преимущества метода

Полная автономия от меток и схемы. Метрика качества данных формируется исключительно из входного потока, устраняя необходимость в эталонных данных или ручных правилах. Сочетание превентивного и реактивного контроля. Аугментированные положительные примеры имитируют погрешности сенсоров, а отрицательные примеры — тяжёлые искажения, поэтому ранговый скорер обнаруживает как мелкие, так и катастрофические нарушения качества быстрее проверок, основанных на правилах. Интерпретируемость через важность признаков. Метод позволяет автоматически строить отчёты о важности параметров, что упрощает работу без глубокого экспертного опыта в машинном обучении у пользователя.

Выводы

Предложен метод оценки качества потока данных, объединяющий самообучающийся ранжирующий энкодер, скользящее агрегирование и встраивание в потоки данных. Метод может работать без каких-либо разметок данных и схемы — это закрывает существенный пробел в существующих фреймворках качества данных.

Заключение

Работа демонстрирует, что самообучающееся ранжирование является жизнеспособным и экономичным решением для автоматического контроля данных в динамичных потоковых системах. Полученные результаты открывают дорогу к унифицированной «сквозной» метрике качества, способной эволюционировать вместе с данными без участия человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Waehner K. Top 5 Trends for Data Streaming with Kafka and Flink in 2024 [Электронный ресурс]. — URL: https://www.kai-waehner.de/blog/2023/12/02/top-5-trends-for-data-streaming-with-apache-kafka-and-flink-in-2024/ (дата обращения: 11.05.2025).
2. Data Dynamics. Unveiling the Shadows: Dark Data's Menacing Impact on Security and Compliance in the Age of AI [Электронный ресурс]. — URL: https://www.datadynamicsinc.com/blog-unveiling-the-shadows-dark-datas-menacing-impact-on-security-and-compliance-in-the-age-of-ai/ (дата обращения: 11.05.2025).
3. CNCF. Observability Trends in 2025 — What's Driving Change? [Электронный ресурс]. — URL: https://www.cncf.io/blog/2025/03/05/observability-trends-in-2025-whats-driving-change/ (дата обращения: 11.05.2025).
4. Gröger F. и др. Intrinsic Self-Supervision for Data Quality Audits // Advances in Neural Information Processing Systems 37. — 2024. — DOI: 10.48550/arXiv.2305.17048.
5. Cao L. и др. Breaking Annotation Barriers: Generalized Video Quality Assessment via Ranking-Based Self-Supervision [Электронный ресурс]. — arXiv:2505.03631, 2025.
6. Great Expectations. Streaming data support in Great Expectations [Электронный ресурс]. — URL: https://discourse.greatexpectations.io/t/streaming-data-support-in-great-expectations/389 (дата обращения: 11.05.2025).
7. FirstEigen. Overcome the Limitations of AWS Deequ with AI/ML [Электронный ресурс]. — URL: https://firsteigen.com/aws-deequ-lp/ (дата обращения: 11.05.2025).
8. Amazon Web Services. Test data quality at scale with Deequ // AWS Big Data Blog. — 16 июня 2018. — URL: https://aws.amazon.com/blogs/big-data/test-data-quality-at-scale-with-deequ/ (дата обращения: 11.05.2025).
9. Evidently AI. Model monitoring for ML in production: a comprehensive guide [Электронный ресурс]. — URL: https://www.evidentlyai.com/ml-in-production/model-monitoring (дата обращения: 11.05.2025).
10. Evidently AI. Machine Learning Monitoring, Part 3: What Can Go Wrong With Your Data [Электронный ресурс]. — URL: https://www.evidentlyai.com/blog/machine-learning-monitoring-what-can-go-wrong-with-your-data (дата обращения: 11.05.2025).
11. Eldele E. и др. Time-Series Representation Learning via Temporal and Contextual Contrasting (TS-TCC) // Proc. IJCAI-21. — 2021.
12. Zhang X., Wu Y. Self-Supervised Learning for Time Series: Contrastive or Generative? // arXiv:2403.09809, 2024.
13. Yang P. и др. RankSim: Ranking Similarity Regularization for Deep Imbalanced Regression // arXiv:2205.15236, 2022.
14. Garrido Q. и др. RankMe: Assessing the Downstream Performance of Pretrained Self-Supervised Representations by Their Rank // Proc. ICML 2023.
15. Wu Y. и др. Self-Supervised Contrastive Pre-Training for Time Series via Time-Frequency Consistency // Proc. NeurIPS 2022.
16. Wu Y. et al. Generalized Video Quality Assessment via Ranking-Based Self-Supervision // arXiv:2505.03631, 2025.
17. Gröger F. et al. Intrinsic Self-Supervision for Data Quality Audits // Advances in Neural Information Processing Systems 37, 2024.
18. Grill J.-B. и др. Bootstrap Your Own Latent: A New Approach to Self-Supervised Learning [Электронный ресурс]. — arXiv:2006.07733, 2020. — URL: https://arxiv.org/abs/2006.07733 (дата обращения: 11.05.2025).
19. Tschannen M., Jain M. Time Series Augmentations for Self-Supervised Representation Learning [Электронный ресурс]. — arXiv:2210.06824, 2022.
20. Yang P. и др. RankSim: Ranking Similarity Regularization for Deep Imbalanced Regression [Электронный ресурс]. — arXiv:2205.15236, 2022.
21. New York City Taxi & Limousine Commission. TLC Trip Record Data 2019–2020 [Электронный ресурс]. — URL: https://www.nyc.gov/site/tlc/about/tlc-trip-record-data.page (дата обращения: 11.05.2025).
22. De Bridgne C. Practical Data Quality with Great Expectations. — O'Reilly Media, 2023.
23. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z.-H. Isolation Forest // IEEE ICDM '08. — Pisa, 2008.
24. Ruff L. и др. Deep One-Class Classification // Proc. ICML 2018. — 2018.

© Уланов Кирилл Анатольевич (ulanovk08@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.48

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ВОПРОСЕ УЧЕТА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

THE APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN THE ACCOUNTING OF SOLID MUNICIPAL WASTE

E. Chembarisov
O. Smetanina

Summary. The article is dedicated to the study of the potential of convolutional neural networks (CNN) aimed at enhancing the accuracy of data processing in the management of municipal waste. An analysis of the implementation of artificial intelligence as a means of accounting for the quantity and monitoring the transportation of waste in the Russian Federation and abroad has been conducted. An assessment of the advantages of implementing neural networks is provided.

Keywords: neural networks, convolutional neural networks, image processing, automated waste accounting, solid waste management, environmental safety.

Чембарисов Эмиль Марсович
Аспирант, Уфимский университет науки и технологий
lawluker@gmail.com
Сметанина Ольга Николаевна
доктор технических наук, профессор,
Уфимский университет науки и технологий
smoljushka@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию, связанному с использованием потенциала сверточных нейронных сетей (CNN) с целью повышения точности обработки данных в обращении с коммунальными отходами. Проанализирован опыт внедрения искусственного интеллекта как средства учета количества и контроля транспортировки отходов в Российской Федерации и за рубежом. Дана оценка преимуществам внедрения нейронных сетей.

Ключевые слова: нейронные сети, сверточные нейронные сети, обработка изображений, автоматизированный учет отходов, управление твёрдыми бытовыми отходами, экологическая безопасность.

Введение

Проблема утилизации твердых коммунальных отходов (далее — ТКО) на сегодняшний день является одной из наиболее актуальных в мире. Существующие методы учета, такие как взвешивание и ручной подсчет, часто оказываются неэффективными и подвержены человеческому фактору. В связи с этим, внедрение технологий искусственного интеллекта, в частности сверточных нейронных сетей (далее — CNN), становится все более востребованным.

Сверточные нейронные сети представляют собой мощный инструмент для автоматизации учета отходов. Они способны обрабатывать и классифицировать изображения, что позволяет значительно ускорить процесс анализа и повысить его точность. Внедрение таких технологий может привести к снижению затрат на утилизацию и повышению уровня контроля за процессами обращения с отходами.

Недавние исследования показывают, что использование ИИ в этой области уже приносит положительные результаты. Например, в некоторых регионах России и за границей внедрены системы, основанные на ИИ, которые позволяют не только учитывать количество отходов, но и контролировать их транспортировку. Эти системы обеспечивают высокий уровень автоматизации и минимизируют риск ошибок, связанных с человеческим фактором.

Таким образом, использование сверточных нейронных сетей в учете твердых коммунальных отходов представляет собой перспективное направление, способствующее повышению эффективности управления отходами и улучшению экологической ситуации в целом.

Проблематика

В рамках государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды», утвержденной Постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 № 326, активно ведется работа по ликвидации объектов накопленного вреда. Важным аспектом данной программы является учет твердых коммунальных отходов (ТКО), который представляет собой сложную задачу из-за отсутствия единой системы и методологии учета. Это приводит к недостоверности данных о количестве и составе отходов, что затрудняет планирование и организацию работы по их сбору, транспортировке и обработке.

Современная сфера учета и контроля транспортировки отходов сталкивается с рядом нерешенных проблем, таких как отсутствие точного учета вывезенных отходов, образование несанкционированных свалок, бескон-

трольный вывоз отходов за наличный расчет, а также невозможность для потребителей контролировать фактический объем вывоза. Кроме того, выполнение замеров нормы накопления осуществляется в ручном режиме раз в год с использованием бюджетных средств, отсутствует электронная карта контейнерных площадок и достоверные данные о приеме отходов на полигонах.

Для решения этих проблем необходимо разработать эффективные методы учета и управления отходами. Актуальными остаются вопросы выбора методов и инструментов для надежного учета ТКО, их классификации по составу и опасности, а также сбора и транспортировки. Предлагаемые меры включают: взвешивание отходов при сборе и транспортировке; установку датчиков на контейнерах для автоматического учета; использование специализированных программ для анализа данных; регулярный мониторинг системы учета.

Внедрение сверточных нейронных сетей (CNN) может значительно повысить эффективность учета ТКО. Использование компьютерного зрения для автоматической классификации отходов по составу и опасности возможно через обучение нейронной сети на большом наборе изображений различных типов отходов. Это ускорит процесс учета и снизит количество ошибок. Автоматическое определение количества отходов с помощью камер на контейнерах позволит точно фиксировать тип и объем отходов, а также отслеживать динамику их изменения.

Кроме того, применение нейронных сетей для прогнозирования объема отходов на основе метеорологических данных и других факторов оптимизирует процесс сбора и транспортировки, снижая затраты. Мониторинг качества воздуха на свалках с использованием датчиков и нейронных сетей поможет оперативно выявлять экологические проблемы, связанные с обращением с отходами.

Обзор литературы показывает растущий интерес к применению сверточных нейронных сетей (CNN) для учета и переработки твердых коммунальных отходов. Кузнецов и коллеги, в своем издании за 2018 г. описывают архитектуру CNN на основе AlexNet, достигающую 92 % точности в классификации отходов, что улучшает сортировку на мусоросортировочных станциях. М.В. Алексеева, из трудов международной научно-практической конференции «Информационные технологии», за 2019 г., использует VGGNet для автоматической сортировки, демонстрируя высокую точность распознавания и снижение затрат на ручной труд. Кравченко и Шишкина в издании 2020 г., предлагают методику на основе ResNet для определения химического состава отходов, что способствует более экологически безопасной переработке. Харитонова и Сорокин в статье 2020 г., исследуют интеграцию CNN с геопозиционированием для учета объемов и состава отходов в реальном времени, что позволяет анализировать их распределение в городской среде. Эти работы подчеркивают потенциал CNN для повышения эффективности процессов утилизации и учета твердых коммунальных отходов.

Описание модели

Сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Network, CNN) представляет собой мощный инструмент для обработки визуальных данных, включая изображения, видео и звуковые сигналы. Основная идея данной архитектуры заключается в извлечении признаков из входных данных с использованием сверточных слоев, которые функционируют как фильтры для выявления различных аспектов изображения. Каждый сверточный слой отвечает за извлечение все более абстрактных признаков, начиная с базовых, таких как границы и углы, и заканчивая более сложными, такими как формы и текстуры.

Базовая архитектура модели сверточной нейронной сети (CNN), включает несколько ключевых компонентов:

1. Сверточный слой: Этот слой выполняет свертку ядра с изображением, проходя по всему пространству и глубине входных данных. Он позволяет выявлять локальные зависимости и особенности в изображениях.
2. Субдискретизирующий слой (пулинг): используется для уменьшения размерности выходных данных от предыдущего слоя. Например, слой MaxPooling2D из библиотеки Keras выбирает максимальное значение в каждой области пулинга, что помогает сократить объем данных и уменьшить вычислительные затраты.
3. Полносвязный слой: В этом слое каждый нейрон связан со всеми нейронами предыдущего слоя. Он принимает на вход данные и вычисляет линейную комбинацию входных значений с весами, после чего применяет функцию активации, чтобы получить выходные значения.

Для нормализации входных данных в данной модели был добавлен слой Rescaling, который масштабирует данные из диапазона от 0 до 255 в диапазон от 0 до 1. Этот шаг ускоряет процесс обучения и повышает точность модели.

В модели были добавлены три сверточных слоя (Conv2D из библиотеки Keras), каждый из которых имеет количество выходных фильтров, равное 16, 32 и 64 соответственно. В качестве функции активации был выбран метод ReLU (Rectified Linear Unit), который обеспечивает простоту вычислений и быструю сходимость при обучении.

После каждого сверточного слоя применяется слой пулинга, что позволяет уменьшить размерность данных и извлечь наиболее значимые признаки. Затем следует Flatten-слой, который преобразует многомерный массив в одномерный вектор, необходимый для передачи данных в полносвязный слой.

В конце нейронной сети используется полносвязный слой Dense с активацией ReLU. Для предотвращения переобучения модели применяются дропауты, которые случайным образом отключают определенные нейроны на каждом этапе обучения. Это позволяет уменьшить зависимость между нейронами и улучшает обобщающую способность модели.

Таким образом, описанная архитектура сверточной нейронной сети представляет собой эффективный инструмент для автоматизации процесса учета твердых коммунальных отходов, позволяя ускорить классификацию и анализ данных, а также повысить точность учета.

Описание набора данных

Для обучения модели была разработана репрезентативная выборка изображений, имитирующих съемку мусорных контейнеров с различной степенью заполненности. Набор данных включает фотографии, отображающие контейнеры, заполненные твердыми коммунальными отходами (ТКО) с различной структурой и составом, приведены на рис. 1 стр. 58. [11]

Это позволяет нейронной сети обучаться на разнообразных примерах, что является критически важным для повышения точности и надежности модели.

Для повышения точности прогнозирования и распознавания объектов в различных условиях была использована аугментация изображений. Аугментация, представляет собой процесс увеличения объема обучающего набора данных путем создания новых вариантов изображений на основе существующих. Этот этап критически важен, так как он позволяет модели лучше обобщать и адаптироваться к различным условиям.

Аугментация данных включала следующие методы:

1. Изменение размера изображений, что позволяет модели адаптироваться к различным масштабам объектов.
2. Поворот изображений, обеспечивающий обучение нейронной сети на
3. данных, представленных под разными углами.
4. Зеркальное отражение, увеличивающее разнообразие представленных данных.
5. Изменение яркости и контрастности, что помогает модели справляться с различными условиями освещения.
6. Добавление шума и других эффектов, повышающее устойчивость модели к помехам.

Эти методы были выбраны для создания более обширного и разнообразного набора данных, что способствует улучшению качества обучения модели.

Методика исследования состояла из нескольких этапов:

1. Формирование репрезентативного набора данных изображений ТКО для обеспечения разнообразия и полноты информации.
2. Выбор архитектуры нейронной сети на основе стандартного дизайна сверточной нейронной сети (CNN) с добавлением слоев свертки, субдискретизации и полносвязного слоя.
3. Настройка гиперпараметров сети и подбор оптимальной стратегии обучения методом проб и ошибок для достижения наилучших показателей точности.
4. Оценка качества результатов путем тестирования модели на независимой выборке данных для проверки эффективности обученной модели.

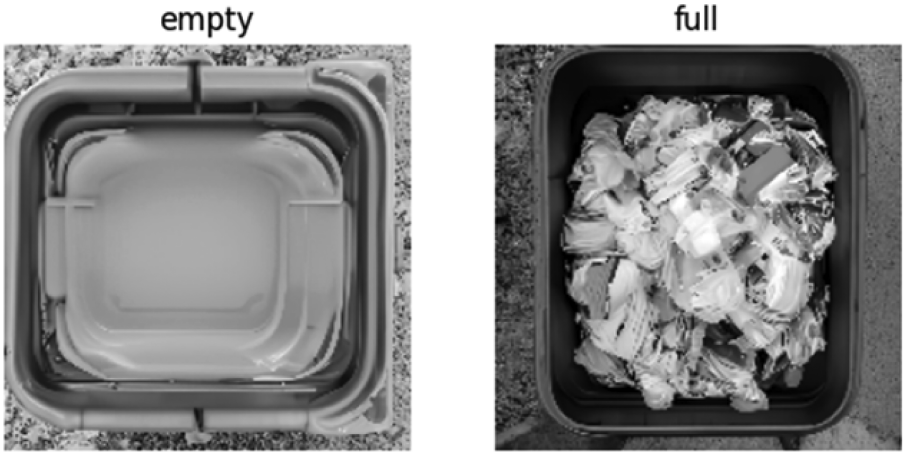


Рис. 1. Пример изображений из набора

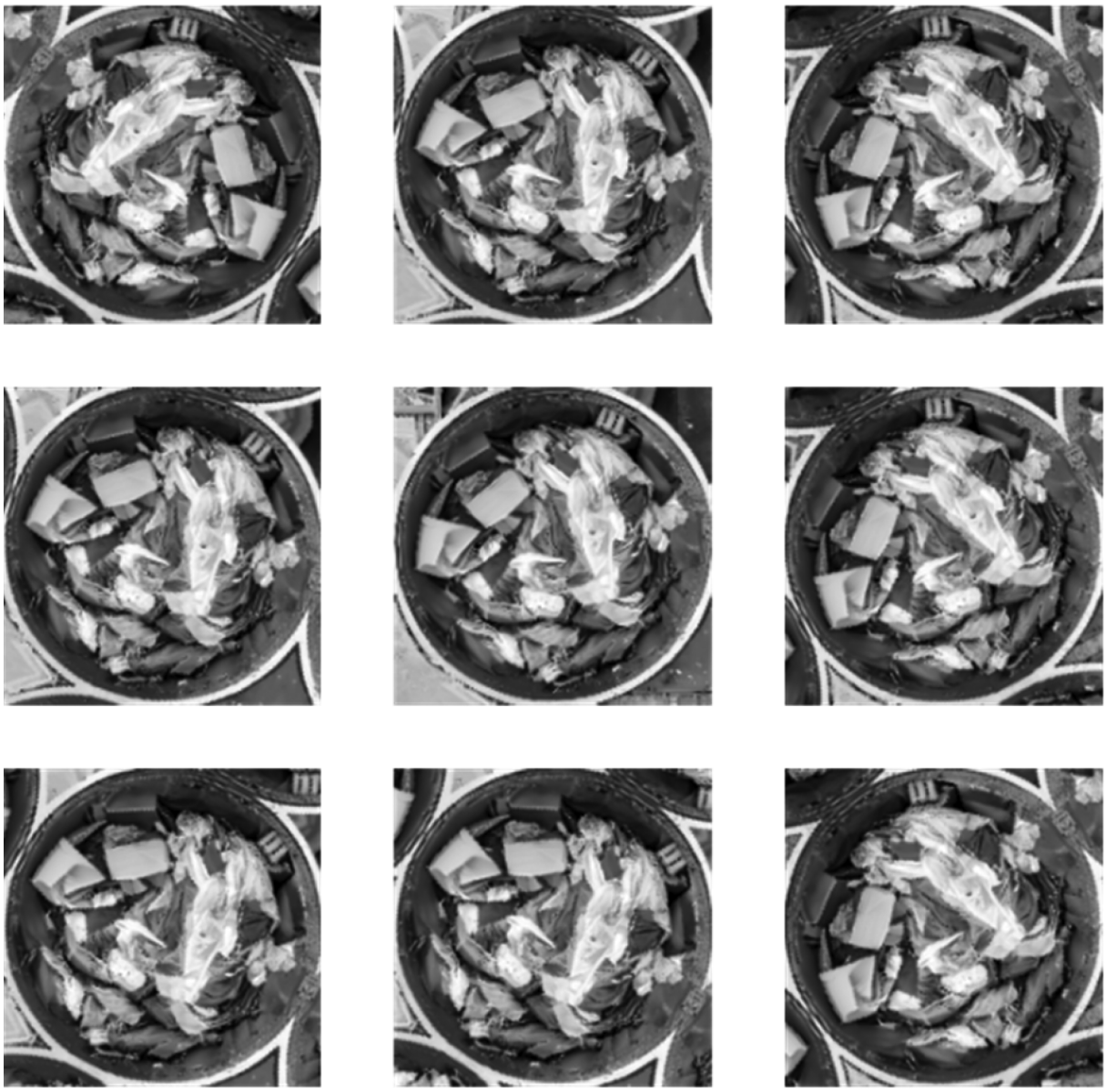


Рис. 2. Аугментация изображений

Таким образом, разработанный набор данных и примененные методы аугментации стали основой для создания эффективной модели, способной точно распознавать и классифицировать твердые коммунальные отходы в различных условиях.

Обучение модели

Обучение модели проводилось на протяжении 15 эпох с использованием обработанного набора данных, состоящего из 1000 изображений, размером 180x180 пикселей в формате JPG. Для оценки производительности модели данные были разделены на три выборки: обучающую (70 % от общего объема), валидационную (20 %) и контрольную (10 %). Это разделение позволяет не только обучить модель, но и оценить ее обобщающую способность на независимых данных.

В процессе обучения была достигнута высокая точность, составившая в среднем около 98 %. Данный результат свидетельствует о хорошей способности модели адаптироваться к различным видам отходов и обеспечивать надежную оценку их количественных характеристик. Высокая точность может быть обусловлена малым количеством объектов в выборке, что позволяет модели легче идентифицировать и классифицировать данные.

Результаты обучения также были визуализированы в виде графиков, показывающих изменение значений точности и функции потерь в процессе обучения. Анализ этих графиков позволяет оценить эффективность процесса обучения и выявить возможные проблемы, такие как переобучение или недостаточная сходимость модели.

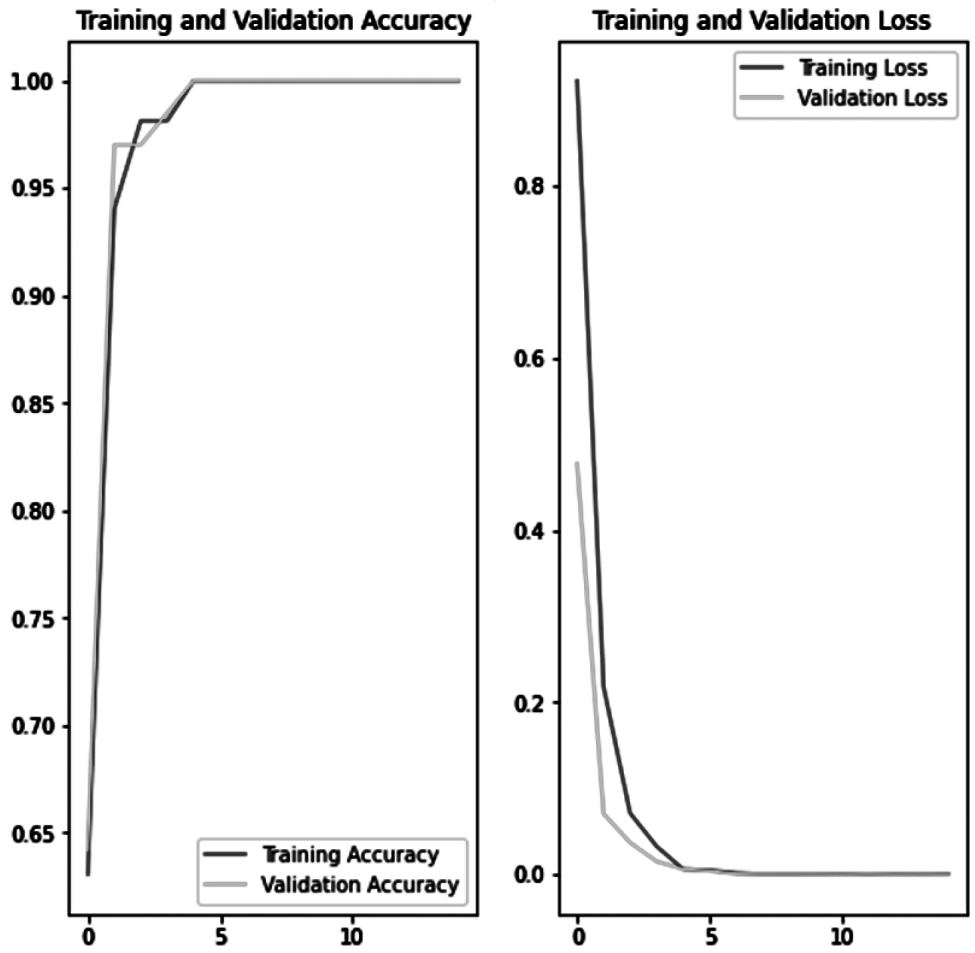


Рис. 3. Изменение значений точности и функции потерь в процессе обучения.

Несмотря на достигнутые результаты, дальнейшая работа по улучшению модели остается актуальной. Планы включают расширение тренировочного набора данных, что позволит повысить разнообразие и сложность задач, а также совершенствование архитектуры сети с целью достижения еще более высоких показателей точности. Настройка гиперпараметров проводилась методом проб и ошибок, что является стандартной практикой для достижения оптимальных результатов в обучении нейронных сетей.

Заключение

В ходе исследования продемонстрирована высокая эффективность сверточных нейронных сетей (CNN) в автоматизации учета твердых коммунальных отходов с точностью модели на уровне 98 %. Новые возможности оптимизации процессов обращения с отходами способствуют улучшению экологической ситуации в городах. Внедрение технологий искусственного интеллекта повысит эффективность, снизит затраты на вывоз отходов и обеспечит защиту данных.

Несмотря на достигнутые успехи, необходимо продолжать работу над улучшением модели, расширяя набор данных и адаптируя архитектуру сети к разнообразным ситуациям. Результаты исследования подтверждают перспективы использования нейронных сетей для решения прикладных задач в экологии и городском хозяйстве, что может привести к более эффективному управлению твердыми коммунальными отходами в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов А.А., Кривошеев А.В., и Никонов А.И., Применение сверточных нейронных сетей для классификации твердых отходов // Информационные технологии. / Вестник НГУ., 2018. — Сер.16, № 2. — С. 28–35.
2. Алексеева М.В. Применение сверточных нейронных сетей для автоматической сортировки твердых отходов. // Труды Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и системы». 2019 — С. 19–24.
3. Кравченко Е.С. и Шишкина И.В. Применение сверточных нейронных сетей для определения состава твердых отходов. // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине. Сер 1. —2020. — №1, С. 38–44.
4. Харитонова Н.В. и. Сорокин А.В. Применение сверточных нейронных сетей для учета твердых отходов в городской среде. // Вестник Казанского технологического университета. Сер. 23–2020. — №. 1. — С. 90–96.
5. Кузнецов А.В., Никонов А.И. и Кривошеев А.В. Применение сверточных нейронных сетей для определения качества твердых отходов. // Информационные технологии и вычислительные системы. Сер. 2–2020 — №. 4. — С. 24–29.
6. Маргасова Е.В. и Шишкина А.В. Применение сверточных нейронных сетей для классификации твердых бытовых отходов. // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине. Сер. 2. — 2021. — №. 1. — С. 19–26.
7. Кузнецов В.И. и Козлова А.А. Применение сверточных нейронных сетей для автоматической сортировки твердых отходов на предприятиях переработки. // Технологии и оборудование для переработки твердых отходов. Сер. 1. — 2021. — № 1. — С. 56–62.
8. Кузнецов А.А., Кривошеев А.В. и Никонов А.И. Применение сверточных нейронных сетей для определения состава твердых бытовых отходов. // Информационные технологии.: Вестник НГУ., 2021. — Сер. 17. — №. 1. — С. 23–30.
9. Кравченко Е.С. и Шишкина И.В. Применение сверточных нейронных сетей для определения категории твердых отходов. // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине. Сер. 2. — 2021. — №. 2. — С. 13–19.
10. Харитонова Н.В. и Сорокин А.В. Применение сверточных нейронных сетей для учета твердых отходов в городской среде с использованием системы геопозиционирования. // Труды Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и системы». 2021. — С. 25–30.
11. Инновации мусорного сектора: фандоматы, датчики и умная сортировка [Электронный ресурс]. — 2022. — URL https://trends.rbc.ru/trends/ (дата обращения: 14.06.2023).

© Чембарисов Эмиль Марсович (lawluker@gmail.com); Сметанина Ольга Николаевна (smoljushka@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.50

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРУЗИЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПРИ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ

THEORETICAL ANALYSIS OF THE STABILITY OF ADAPTIVE EXTRUSION CONTROL FOR EMISSION REDUCTION IN FUSED DEPOSITION MODELLING THREE-DIMENSIONAL PRINTING

Sharara Simbarashe

Summary. Three-dimensional layer-by-layer printing releases volatile organic compounds, which causes environmental and health concerns among users of this technology. The question of how to make 3D printing with the method of fused deposition modelling sustainable and environmentally friendly has been discussed over the past 5 years. Central to these efforts is the introduction of an adaptive regulatory approach aimed at minimizing emissions of volatile organic compounds. Static solutions, such as traditional PID controllers with fixed proportional integral derivative (PID) parameters, have difficulty effectively managing volatile organic compound emissions due to their inherent variability due to factors such as the composition of the plastic filament, ambient temperature, and printing geometry. However, the nonlinear dynamics inherent in three-dimensional fused deposition modelling printing requires careful stability testing to ensure system reliability. This article analyzes stability using Lyapunov methods to ensure that an adaptive PID control system for extrusion control, designed to reduce volatile organic compound emissions, ensures stable operation without fluctuations or deviations under unpredictable operating conditions, ensuring both emission reduction goals and print quality.

Keywords: volatile organic compounds, 3D printing, fused deposition modelling, Lyapunov analysis, stability analysis, adaptive control.

Шарара Симбараше
Аспирант, Московский государственный университет «СТАНКИН»
shackssharara@gmail.com

Аннотация. При трехмерной послойной печати выделяются летучие органические соединения, что вызывает обеспокоенность у пользователей этой технологии в отношении окружающей среды и здоровья. Вопрос о том, как сделать трехмерная печать с методом послойного наплавления устойчивой и безвредной для окружающей среды, обсуждался в течение последних 5 лет. Центральное место в этих усилиях занимает внедрение адаптивного подхода к регулированию, направленного на минимизацию выбросов летучих органических соединений. Статические решения, такие как традиционные ПИД-регуляторы с фиксированными параметрами пропорционально-интегральной производной (ПИД), с трудом справляются с эффективным управлением выбросами летучих органических соединений из-за присущей им изменчивости, обусловленной такими факторами, как состав пластиковой нити накала, температура окружающей среды и геометрия печати. Однако нелинейная динамика, присущая трехмерной печати методом послойного наплавления, требует тщательного тестирования стабильности для обеспечения надежности системы. В этой статье проводится анализ стабильности с использованием методов Ляпунова, чтобы убедиться, что адаптивная система ПИД-регулирования для контроля экструзии, разработанная для снижения выбросов летучих органических соединений, обеспечивает стабильную работу без колебаний или отклонений в непредсказуемых условиях эксплуатации, обеспечивая как цели по снижению выбросов, так и качество печати.

Ключевые слова: летучие органические соединения, 3D-печать, послойное наплавление, анализ Ляпунова, анализ стабильности, адаптивное управление.

Введение

Трехмерная печать — одна из передовых технологий в современном производстве. Трехмерная печать методом послойного наплавления пластиковыми нитями упростило создание прототипов и мелкосерийное производство в различных отраслях промышленности. Широкое внедрение трехмерной печати методом послойного наплавления выявило серьезные экологические проблемы, главная из которых — выбросы летучих органических соединений [1]. Современные стратегии снижения выбросов летучих органических соединений включают использование усовершенствованных систем вентиляции, модифицированных нитей с низким уровнем выбросов и последующую фильтрацию. Эти подходы часто оказываются неэффективными из-за их неспособности адаптироваться к динамическим условиям, присущим процессу печати методом послойного наплавления, что приводит к необходимости автоматизированного управления процессом [2].

Статические решения не могут эффективно управлять выбросами летучих органических соединений, поскольку они зависят от таких факторов, как состав пластиковой нити накала, температура окружающей среды и геометрия печати. Традиционные системы управления, такие как пропорционально-интегрально-производные (ПИД) регуляторы с фиксированными параметрами, усугубляют эту проблему, поддерживая жесткие настройки, которые не реагируют на изменения в реальном времени, что приводит к непоследовательному контролю выбросов и неоптимальной производительности. Адаптивное управление представляет собой многообещающее решение. По сравнению с традиционными методами, адаптивные системы управления непрерывно корректируют свои параметры на основе обратной связи от процесса печати, что позволяет им приспосабливаться к непредсказуемой динамике [3].

Адаптивное управление не является чем-то новым для трехмерной печати, оно уже использовалось для повышения производительности и качества продукции. Например, Ли и др. [4] внедрили технологию адаптивной 3D-печати, способную обнаруживать и исправлять дефекты экструзии в процессе печати, тем самым улучшая механические свойства напечатанных объектов. Применение адаптивного управления специально для контроля выбросов летучих органических соединений остается недостаточно изученным. Это свидетельствует о значительном пробеле в области исследований, подчеркивая необходимость дальнейшего изучения методологий адаптивного контроля, разработанных специально для контроля выбросов при трехмерной печати.

В данной статье мы попытаемся устранить этот пробел, проанализировав адаптивную систему ПИД-регулятор для регулирования скорости экструзии с целью минимизации выбросов летучих органических соединений при трехмерной печати методом послойного наплавления. В системах управления в режиме реального времени стабильность считается краеугольным камнем. Нестабильность может привести к непредсказуемому поведению или колебаниям, которые могут привести к невозможности поддержания летучих органических соединений в допустимых пределах, а также к ухудшению качества печати.

Обзор литературных источников

Анализ Ляпунова — очень важный инструмент в разработке систем управления, позволяющий получить критическое представление о поведении и стабильности системы [5]. Теория устойчивости по Ляпунову является краеугольным камнем анализа нелинейных систем управления, она предоставляет метод определения устойчивости системы без явного решения системных дифференциальных уравнений. Основанный на методе Ляпунова анализ стабильности был применен к роботизированным манипуляторам и промышленным экструдерам [8], однако его использование в трехмерной печати, моделирующей наплавленное напыление, остается недостаточно изученным, особенно для контроля выбросов. Воздействие трехмерной печати на окружающую среду, в частности выбросы летучих органических соединений, было количественно оценено такими исследователями, как Чжан и др. [10], которые связали уровень выбросов с несогласованными условиями экструзии. Несмотря на это, лишь в немногих исследованиях снижение выбросов увязывается со стабильностью адаптивного управления. Этот пробел подчеркивает необходимость анализа адаптивной системы управления экструзией на основе метода Ляпунова, разработанного таким образом, чтобы свести к минимуму выбросы, сочетая эффективность процесса с экологической устойчивостью.

Материалы и методы

В архитектуре адаптивного управления 3D-принтера методом послойного наплавления для минимизации выбросов летучих органических соединений, скорость экструзии регулируется гибридным контроллером путем обработки сигналов отклонения, полученных на основе данных в режиме реального времени от датчиков летучих органических соединений. Система управления ПИД обеспечивает немедленные корректирующие действия посредством пропорционального, интегрального и производного компонентов, в то время как адаптивный компонент постоянно изменяет выигрыш регулятора в ответ на переходные возмущения и изменяющиеся условия процесса. Математически закон управления для гибридного ПИД -регулятора выражается в виде:

$$u(t) = \boldsymbol{K_P}(t)e(t) + \boldsymbol{K_i}(t)\int_o^t e(t) + \boldsymbol{K_d}(t)\frac{d}{dt}e(t)$$

Где, $e(t)$ представляет собой погрешность между желаемым заданным значением, определяемым целевыми уровнями выбросов летучих органических соединений и критериями качества печати, и измеренным выходным сигналом датчиков летучих органических соединений, а $\boldsymbol{K_P}(t)$, $\boldsymbol{K_i}(t)$ и $\boldsymbol{K_d}(t)$ — коэффициенты усиления, изменяющиеся во времени. Эти коэффициенты усиления динамически обновляются с использованием законов адаптации, которые реагируют на динамику ошибок в режиме реального времени, тем самым гарантируя, что контроллер по-прежнему реагирует на изменения свойств нити накала, условий окружающей среды и других технологических нарушений.

На основе абсолютной величины отклонения содержания летучих органических соединений корректируется пропорциональный коэффициент усиления, $\boldsymbol{K_P}(t)$,

гарантирующий, что корректирующие действия будут масштабироваться пропорционально степени выбросов.

Гарантируется динамическое изменение скорости экструзии для снижения выбросов при сохранении стабильности процесса за счет интеграции этих адаптивных коэффициентов усиления в общее правило управления. Регулировка скорости экструзии осуществляется в соответствии с соотношением, показанным ниже:

$$F_{adj} = F_{nominal} * \left(1 - K\frac{C_{voc} - C_{ref}}{C_{ref}}\right)$$

где K — коэффициент адаптации, зависящий от регулировки коэффициента усиления Пид-регулятора.

Измеренное отклонение концентрации летучих органических соединений от контрольного уровня C_{ref} будет использоваться для корректировки коэффициента усиления ПИД-регулирования. Адаптивный закон ПИД-регулирования определяется следующим образом:

$$u(t) = \boldsymbol{K_P}(t)e(t) + \boldsymbol{K_i}(t)\int_o^t e(t) + \boldsymbol{K_d}(t)\frac{d}{dt}e(t)$$

Где $e(t) = C_{voc} - C_{ref}$ – это погрешность между измеренной концентрацией C_{voc} и эталонной концентрацией C_{ref}.

В зависимости от величины ошибки механизм адаптации настраивает коэффициент усиления ПИД-регулятора. Пропорциональный коэффициент усиления регулируется следующим образом:

$$\boldsymbol{K_P}(t) = \boldsymbol{K_{p0}} + \alpha|(t)|$$

Где $\boldsymbol{K_{p0}}$ — базовый пропорциональный коэффициент усиления,

α — положительная константа, определяющая чувствительность к ошибкам.

Аналогичным образом, интегральные и производные коэффициенты усиления корректируются таким же образом.

$$\boldsymbol{K_i}(t) = \boldsymbol{K_{i0}} + \beta\int_o^t |e(\tau)|d\tau$$

$$\boldsymbol{K_d}(t) = \boldsymbol{K_{d0}} + \gamma\frac{d}{dt}|e(t)|$$

Где $\boldsymbol{K_{i0}}$ и $\boldsymbol{K_{d0}}$ являются начальными коэффициентами усиления, β и γ являются константными настройками.

Такой подход обеспечивает строгий контроль при больших отклонениях концентрации летучих органических соединений и более точную регулировку при меньших отклонениях.

α, β и γ — скорости адаптации, которые определяют, насколько быстро усиления реагируют на ошибку в адаптивной системе управления, являются критическими параметрами. Если эти скорости адаптации слишком велики, выигрыш может изменяться слишком быстро, вызывая колебания или превышение; если слишком мал, система может работать слишком медленно, чтобы поддерживать C_{voc} вблизи C_{ref}. Таким образом, баланс между быстродействием и стабильностью является ключевой задачей.

Функция Ляпунова, $\boldsymbol{V_e}$ определяется с использованием ошибки, заданной как $e(t)$ простой вариант:

$$\boldsymbol{V_e} = \frac{1}{2}e(t)^2$$

Функция измеряет, насколько далеко система находится от желаемого состояния. Функция всегда принимает положительное значение, если только ошибка не равна нулю. Следующим шагом в анализе стабильности является изучение того, как функция $\boldsymbol{V_e}$ изменяется с течением времени, путем вычисления скорости ее изменения (производной), обозначаемой как $\dot{V_e}$.

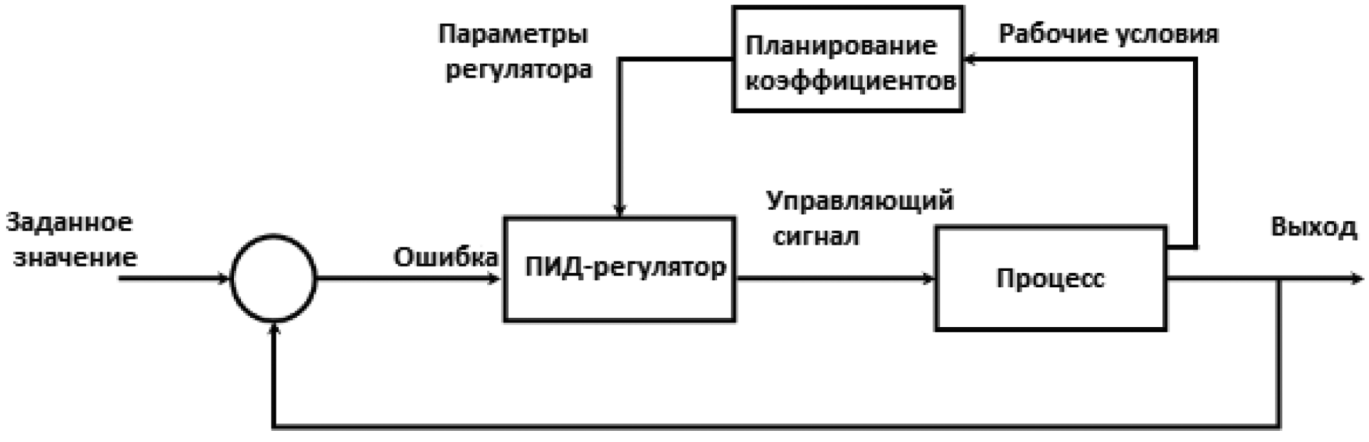


Рис. 1. Изображение схемы контура управления

$V^{\cdot}_{e}$ всегда должно быть отрицательным (за исключением случаев, когда ошибки отсутствуют), это означает, что со временем количество ошибок будет уменьшаться, и система в конечном итоге достигнет желаемого состояния.

Работая в предположении, что динамика концентрации летучих органических соединений аппроксимируется уравнением первого порядка:

$$C^{\cdot}_{\text{voc}}(t) = -aC_{voc}(t) + bv(t) + d(t)$$

Где, $a > 0$ — скорость естественного затухания концентрации летучих органических соединений (например, из-за диффузии или вентиляции), $b > 0$ — коэффициент, связывающий скорость экструзии $v(t)$ с выбросами летучих органических соединений, $d(t)$ — ограниченное возмущение ($|d(t)| \le D$) представляющее вариации материала или условий окружающей среды.

Цель управления — поддерживать $C_{\text{voc}} \approx C_{\text{ref}}$ Динамика ошибки:

$$e^{\cdot}(t) = -C^{\cdot}_{\text{voc}}(t) = aC_{voc}(t) - bv(t) - d(t)$$

Подставляя $C_{\text{voc}} = C_{\text{ref}} - e(t)$:

$$e^{\cdot}(t) = a\left(C_{\text{ref}} - e(t)\right) - bv(t) - d(t) =$$

$$= -ae(t) + aC_{\text{ref}} - bv(t) - d(t)$$

Скорость экструзии задается как:

$$v(t) = v_0 + u(t)$$

Где v_0 — номинальная скорость (выбрана так, чтобы $-aC_{ref} - bv_0 = 0$ в отсутствие возмущений, а $u(t) = \boldsymbol{K}_{\boldsymbol{P}}(t)e(t)$ — управляющий сигнал с адаптивным пропорциональным усилением $\boldsymbol{K}_{\boldsymbol{P}}(t) = \boldsymbol{K}_{p0} + \alpha|e(t)|$. Тогда:

$$e^{\cdot}(t) = -ae(t) - b\left(\boldsymbol{K}_{p0} + \alpha\left|e(t)\right|\right)e(t) - d(t)$$

Для анализа устойчивости используется функция Ляпунова:

$$\boldsymbol{V}_{e} = \frac{1}{2}e(t)^2$$

Эта функция положительно определенная ($V(t) > 0$ при $e(t) \neq 0$, $V(t) = 0$ при $e(t) = 0$, и представляет собой меру энергии ошибки. Устойчивость системы определяется путем вычисления производной по времени:

$$V^{\cdot}(t) = e(t)e^{\cdot}(t)$$

Подставляя $e^{\cdot}(t)$:

$$V^{\cdot}(t) = e(t)[-\left(a + b\left(\boldsymbol{K}_{p0} + \alpha e(t)\right)\right)e(t) - d(t),$$

$$V^{\cdot}(t) = -\left[a + b\left(\boldsymbol{K}_{p0} + \alpha e(t)\right)\right]e^2(t) - e(t)d(t),$$

Результаты

В ходе анализа было оценено поведение системы как в спокойных, так и в возмущенных условиях.

Анализ устойчивости без возмущений $d(t)$:

$$V^{\cdot}(t) = -\left[a + b\left(\boldsymbol{K}_{p0} + \alpha e(t)\right)\right]e^2(t)$$

Поскольку $a > 0$, $b > 0$, $\boldsymbol{K}_{p0} > 0$, и $\alpha \ge 0$, выражение $\left[a + b\left(\boldsymbol{K}_{p0} + \alpha e(t)\right)\right] \ge a > 0$, и $V^{\cdot}(t) \le -ae^2(t) < 0$ для $e(t) \neq 0$. Это указывает на отрицательно определенную $V^{\cdot}(t)$, что гарантирует глобальную асимптотическую устойчивость: ошибка $e(t)$ стремится к нулю при $t \to \infty$ из любой начальной точки. Адаптивный член $\alpha\left|e(t)\right|$ усиливает отрицательную обратную связь, ускоряя сходимость.

Анализ устойчивости с возмущениями

Теперь учтем возмущения ($\left|d(t)\right| \le D$):

$$V^{\cdot}(t) = -\left[a + b\left(\boldsymbol{K}_{p0} + \alpha e(t)\right)\right]e^2(t) - e(t)d(t),$$

Оценим член возмущения:

$$-e(t)d(t) \le \left|e(t)\right|\left|d(t)\right| \le \left|e(t)\right|D$$

Используем неравенство Юнга ($xy \le \frac{x^2}{2\in} + \frac{\in y^2}{2}$, выбрав $\in = a$:

$$\left|e(t)\right|D \le \frac{a}{2}e^2(t) + \frac{D^2}{2a}$$

Тогда:

$$V^{\cdot}(t) \le -\left[a + b\left(\boldsymbol{K}_{p0} + \alpha e(t)\right)\right]e^2(t) + \frac{a}{2}e^2(t) + \frac{D^2}{2a}$$

$$V^{\cdot}(t) \le -\left[\frac{a}{2} + b\left(\boldsymbol{K}_{p0} + \alpha e(t)\right)\right]e^2(t) + \frac{D^2}{2a}$$

Поскольку

$$\frac{a}{2} + b\left(\boldsymbol{K}_{p0} + \alpha e(t)\right) > \frac{a}{2} > 0$$

$$V^{\cdot}(t) \le -\frac{a}{2}e^2(t) + \frac{D^2}{2a}$$

$V^{\cdot}(t) < 0$ когда:

$$\frac{a}{2}e^2(t) > \frac{D^2}{2a} \Rightarrow \left|e(t)\right| > \sqrt{\frac{D^2}{a^2}} = \frac{D}{a}$$

Это демонстрирует практическую устойчивость: ошибка $e(t)$ ограничена областью, пропорциональной величине возмущений *D*, что соответствует реальным условиям печати с вариациями материала или вентиляции.

Обсуждение

Проведенный анализ позволяет провести тщательную проверку адаптивной системы управления экструзией, разработанной с учетом минимизации выбросов, подтверждая ее надежность как в идеальных, так и в аварийных условиях. Полученные результаты показывают, что при отсутствии возмущений закон адаптивного управления обеспечивает глобальную асимптотическую стабильность, сводя со временем погрешность определения концентрации летучих органических соединений к нулю.

Система также обеспечивает практическую стабильность, ограничивая ошибки в пределах управляемой области, пропорциональной величине возмущений, при наличии возмущений, представляющих реальные изменения в материале или окружающей среде. Такая адаптивность не только снижает выбросы за счет оптимизации динамики выдавливания, но и сохраняет качество печати, обеспечивая двойное преимущество, недоступное статическим ПИД-регуляторам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Azimi P., Zhao D., Pouzet C., Crain N.E., Stephens B. Emissions of ultrafine particles and volatile organic compounds from commercially available desktop three-dimensional printers with multiple filaments. Environmental Science & Technology. — 2016. — C. 1260–1268.
2. Dostatni E., Osinski F., Mikołajewski D., Sapietová A., Rojek I. Neural Networks for Prediction of 3D Printing Parameters for Reducing Particulate Matter Emissions and Enhancing Sustainability. Sustainability. — 2024.
3. Jie Zhang., Da-Ren Chen., Sheng-Chieh Chen. A review of emission characteristics and control strategies for particles emitted from 3D fused deposition modeling (FDM) printing, Building and Environment. — 2022
4. Lee W., Fritsc J., Maqsood A., Liu S., Bourassa T., Calara R., Kim W.S. Adaptive 3D Printing for In Situ Adjustment of Mechanical Properties. —2023 https://doi.org/10.1002/aisy.202200229
5. Jean-Jacques E. Slotine., Weiping Li. «Applied Nonlinear Control», Prentice Hall. — 1990.
6. Boyd S., El Ghaoui L., Feron E., Balakrishnan V. Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory. —1994.
7. Close C.M., Frederick D.K., Newell J.C. Modeling and Analysis of Dynamic Systems, Wiley. —2001.
8. Karl Astrom., Bjorn Wittenmark. Adaptive Control 'Second edition'/ IEEE Control Systems Magazine. -1995. doi: 10.1109/MCS.1996.487415.
9. Slotine J., Li W. Applied Nonlinear Control. Prentice Hall, New Jersey. — 1991
10. Zhang Qian., Wong. Characterization of Particle Emissions from Consumer Fused Deposition Modeling 3D Printers. Aerosol Science and Technology. — 2017.

© Шарара Симбараше (shackssharara@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.51

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ ДЛЯ ОБЕЗЛИЧИВАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИС

USE OF AI FOR PERSONAL DATA DEPARTMENT IN IS DEVELOPMENT

G. Shevtsova
K. Dobrinov

Summary. The article discusses approaches to personal data depersonalization using artificial intelligence (AI) technologies in the process of development and maintenance of information systems (IS). Particular attention is paid to the architecture of AI solutions embedded in engineering practices, an overview of modern tools such as autoencoders and differential privacy, as well as examples from the financial and medical sectors is presented. The advantages of intelligent methods over traditional depersonalization schemes are substantiated, with an emphasis on the practical integration of such solutions into the life cycle of an information system.

Keywords: artificial intelligence, data depersonalization, information systems development, machine learning, autoencoders, testing, differential privacy, data engineering.

Шевцова Галина Александровна
Кандидат исторических наук, доцент, Российский государственный гуманитарный университет
shevtsova-g@mail.ru
Добринов Кирилл Павлович
Аспирант, Российский государственный гуманитарный университет
kpdobrinov@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются подходы к обезличиванию персональных данных с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ) в процессе разработки и сопровождения информационных систем (ИС). Особое внимание уделено архитектуре ИИ-решений, встроенных в инженерные практики, представлен обзор современных инструментов, таких как автоэнкодеры и дифференциальная приватность, а также примеры из финансового и медицинского секторов. Обоснованы преимущества интеллектуальных методов по сравнению с традиционными схемами обезличивания, акцент сделан на практическую интеграцию таких решений в жизненный цикл ИС.

Ключевые слова: искусственный интеллект, обезличивание данных, разработка информационных систем, машинное обучение, автоэнкодеры, тестирование, дифференциальная приватность, инженерия данных.

С каждым годом персональные данные всё активнее вовлекаются в работу технологичных продуктов и обогащают цифровой след. Банковские операции, медицинские записи, действия в социальных сетях — всё это генерирует огромные массивы информации, которые собираются, хранятся и обрабатываются различными информационными системами. На этом фоне задача защиты персональных данных становится вопросом безопасности, правового соответствия и этики. При этом такие данные применяются в том числе и на этапах проектирования, тестирования и аналитики информационных систем, а также при обучении алгоритмов машинного обучения. На каждом из этих этапов сохраняется риск утечки или неправомерного доступа, особенно если в работе используются чувствительные пользовательские данные.

Обезличивание — один из базовых методов защиты информации, позволяющий исключить возможность установления личности субъекта данных. Однако традиционные подходы, включая удаление идентификаторов, генерализацию и маскирование, обладают существенными ограничениями. Они слабо масштабируются, приводят к потере значимой информации и не гарантируют защиту от повторной идентификации при наличии сторонних источников [1].

В качестве альтернативы всё чаще рассматриваются решения, основанные на технологиях искусственного интеллекта. Модели машинного обучения способны автоматически обнаруживать чувствительные признаки, учитывать взаимосвязи между полями и проводить обезличивание с сохранением структурной и аналитической целостности данных. Это особенно актуально в процессе разработки информационных систем, где важны как безопасность, так и достоверность рабочих наборов данных.

Настоящая статья посвящена анализу подходов к обезличиванию персональных данных с применением ИИ в рамках жизненного цикла разработки и сопровождения информационных систем.

Обезличивание персональных данных традиционно реализуется с использованием формальных подходов, направленных на исключение прямой связи между информацией и конкретным человеком. К числу таких методов относятся:

- удаление прямых идентификаторов, таких как фамилия, имя, отчество, номер паспорта, e-mail;
- генерализация, при которой точные значения заменяются обобщёнными категориями (например, возраст → диапазон, адрес → город);

— псевдонимизация — подмена идентификаторов случайными или уникальными кодами;
— маскирование, то есть частичное скрытие значений (например, отображение только последних цифр номера телефона);
— добавление статистического шума к числовым или категориальным данным.

Эти методы применяются в нормативной практике, особенно в задачах, где важно быстро исключить идентификаторы при передаче данных внешним системам или при публикации агрегированной информации. Они просты в реализации и не требуют вычислительно затратных операций.

Однако несмотря на широкое распространение, данные подходы имеют целый ряд ограничений. Во-первых, они часто нарушают внутреннюю структуру данных, делая их малопригодными для анализа. Во-вторых, они плохо адаптируются к разнообразным форматам и взаимосвязанным атрибутам, что особенно критично для современных информационных систем. В-третьих, их недостаточная устойчивость к повторной идентификации при использовании внешних источников давно зафиксирована в научной и правовой литературе — например, в документах Европейской комиссии по применению GDPR [2], а также в российских исследованиях, посвящённых оценке уязвимостей классических методов [1].

Кроме того, такие методы часто применяются вне контекста бизнес-процессов или архитектуры ИС. Это создаёт риск того, что обезличивание рассматривается как вспомогательная операция, а не как встроенный механизм обеспечения приватности на уровне инженерии. В результате решения оказываются негибкими и не соответствуют требованиям к интеграции, масштабируемости и повторному использованию.

В ответ на ограничения традиционных подходов всё большую актуальность приобретают методы обезличивания, основанные на технологиях искусственного интеллекта (ИИ). Такие методы ориентированы не на механическое удаление или подмену полей, а на контекстный анализ структуры данных, выявление чувствительных признаков и трансформацию информации с учётом её внутренней логики. Это особенно важно в условиях сложных, многоуровневых или слабо структурированных данных, которые типичны для современных информационных систем.

Ключевым преимуществом ИИ является способность обнаруживать неявные зависимости между признаками, что невозможно при использовании статичных или заранее заданных схем обезличивания. Например, если фамилия удалена, но остаются профессия, возраст и регион, алгоритмы машинного обучения могут определить, подлежит ли запись дальнейшему обезличиванию, даже если атрибут формально не является идентифицирующим.

В числе наиболее эффективных ИИ-подходов:
— автоэнкодеры — нейросетевые модели, способные формировать обобщённое представление данных, устраняя индивидуальные особенности и позволяя восстанавливать их без идентификационных признаков [3];
— обучаемые классификаторы — определяют уровень чувствительности конкретных полей и применяют к ним соответствующие стратегии обработки;
— модели на основе дифференциальной приватности — позволяют добавлять шум к результатам запросов или наборам данных, ограничивая вероятность восстановления индивидуальной записи даже при доступе к агрегированной информации [4].

Эти подходы обеспечивают более высокую устойчивость к повторной идентификации, сохраняя при этом возможность использования данных для аналитических, исследовательских и инженерных целей. Особенно ценно это в условиях разработки ИС, где важно тестировать системы на реалистичных наборах, но без риска утечки. Кроме того, ИИ-системы можно адаптировать под конкретную предметную область, обучив модель на частотных паттернах и внутренних правилах конкретного бизнеса. Это делает возможным не просто «обезличивание по шаблону», а интеллектуальную трансформацию данных с учётом логики их применения в рамках информационной системы.

Эффективное применение методов ИИ для обезличивания данных требует не только выбора подходящей модели, но и построения целостной архитектуры, которая может быть встроена в общий контур разработки информационной системы. Это особенно важно, если обезличивание выполняется не как разовая процедура, а как непрерывный процесс, сопровождающий разработку, тестирование, аналитику и поддержку продукта.

В условиях промышленной разработки архитектура таких систем должна учитывать требования к масштабируемости, воспроизводимости, интеграции с другими сервисами, а также соответствие нормативным и внутренним политикам безопасности. Простейшая схема «загрузил — обезличил — выгрузил» не подходит для рабочих ИС, где данные меняются постоянно, работают CI/CD-пайплайны, а разные команды обмениваются информацией через API.

В этой связи архитектура системы обезличивания на основе ИИ, как правило, строится по модульному принципу и включает в себя следующие ключевые компоненты:

1. Модуль предобработки данных

На первом этапе происходит подготовка данных для анализа и последующего обезличивания. Этот модуль отвечает за очистку (удаление дубликатов, заполнение пропусков), нормализацию (приведение значений к стандартным форматам) и извлечение метаинформации о типах признаков. Именно здесь формируется «база» для корректной работы моделей — некорректно размеченные или загрязнённые данные могут привести к тому, что ИИ ошибочно интерпретирует чувствительные поля.

Подготовленные данные также подвергаются первичной агрегации: выделяются типовые шаблоны и статистические распределения, которые используются далее для калибровки моделей обезличивания.

2. Модуль классификации и разметки чувствительных данных

Ключевая задача этого модуля — определить, какие именно поля содержат персональную информацию и требуют особого обращения. Здесь применяются обученные модели (например, градиентный бустинг или логистическая регрессия), а также правила, основанные на регулярных выражениях и списках атрибутов (PII, SPII и др.).

В продвинутых решениях используется комбинация автоматической классификации и ручной верификации. Такой подход позволяет добиться баланса между масштабируемостью и точностью, особенно в системах, работающих с нестандартными или локализованными данными.

3. Ядро обезличивания (ИИ-модуль)

Это центральная часть системы. В зависимости от задач здесь применяются разные алгоритмы:

— Автоэнкодеры — нейросети, которые обучаются сжимать данные в латентное пространство и восстанавливать их обратно, исключая при этом идентифицирующую информацию [3].
— Генеративные модели (GAN, VAE) — используются для создания синтетических данных, статистически схожих с оригинальными.
— Алгоритмы на основе дифференциальной приватности — добавляют контролируемый шум, минимизируя вероятность идентификации конкретной записи [4].

Ядро может работать как в пакетном режиме (например, при регулярной выгрузке данных), так и в потоковом — например, при интеграции с веб-приложением или API.

4. Модуль контроля качества и валидации

Обезличивание должно быть не просто выполнено, но и верифицировано. Для этого используются формальные метрики:

— k-анонимность — показывает, сколько записей выглядят идентично в обезличенном наборе;
— l-разнообразие — оценивает, насколько разнообразны чувствительные значения в пределах одинаковых групп;
— t-близость — сравнивает распределения чувствительных признаков до и после обезличивания.

Также важен встроенный аудит: система логгирует, какие данные и каким методом были обработаны, какие версии модели применялись, какие поля подлежали контролю. Это позволяет как соблюсти требования законодательства (например, GDPR и ФЗ-152), так и обеспечить воспроизводимость решений внутри команды.

5. Интерфейс интеграции с другими системами

Практически ни одна система не работает изолированно. Архитектура обезличивания должна предусматривать возможность интеграции с:

— корпоративными базами данных (SQL/NoSQL);
— пайплайнами CI/CD (например, GitLab или Jenkins);
— облачными хранилищами (например, Yandex Cloud);
— API для внешнего и внутреннего обмена данными.

Наличие гибких интерфейсов делает обезличивание частью инфраструктуры, а не внешним инструментом.

Примеры платформ, реализующих такие архитектурные принципы:

— Google Cloud Data Loss Prevention — сервис, предоставляющий API для автоматического обнаружения и маскировки PII в потоках данных [5];
— IBM Watson Knowledge Catalog — комплексная система управления метаданными, обеспечивающая обнаружение, классификацию и защиту данных [6];
— Amazon Macie — инструмент, использующий ML для анализа и защиты данных в облаке AWS, с поддержкой политики управления доступом [7].

Проблема защиты персональных данных особенно остро стоит в условиях активной разработки, внедрения и сопровождения информационных систем. На практике это означает, что данные подвергаются обработке на всех этапах жизненного цикла ИС.

Во многих организациях разработчики, тестировщики и аналитики работают с копиями «боевых» данных, либо в контексте прототипирования, либо для отладки

бизнес-логики. Использование реальных персональных данных в этих целях может приводить к непреднамеренным утечкам, особенно в распределенных командах или при передаче данных подрядчикам. Поэтому обезличивание должно быть встроено в саму культуру разработки — как неотъемлемый элемент процесса, а не внешний

5.1. ИИ-обезличивание в процессах разработки информационных систем

Применение ИИ позволяет автоматизировать обезличивание в ИТ-практиках, обеспечивая:
— сохранение логической структуры и связей между полями (например, имя ↔ пол ↔ регион);
— генерацию реалистичных, но не раскрывающих личность данных;
— обработку потоков данных в рамках CI/CD и DevOps-пайплайнов.

Такие решения востребованы в крупных компаниях, где ценится стабильность процессов и соблюдение требований законодательства (GDPR, ФЗ-152). Например, используются инструменты:
— Tonic.ai, DataMasque — платформы генерации обезличенных данных для разработки и тестирования;
— Google Cloud DLP API — API для автоматического обнаружения и маскировки чувствительных данных [5];
— Faker, Mockaroo — библиотеки для генерации синтетических данных.

Интеграция этих решений в процесс разработки позволяет не только снизить риски, но и ускорить выход продукта за счет стандартизации работы с данными.

5.2. Финансовый сектор

Финансовые учреждения — банки, страховые компании, платёжные сервисы — ежедневно обрабатывают миллионы записей с чувствительной информацией: от транзакций до профилей клиентов. В то же время аналитические и рекомендательные системы требуют доступа к поведенческим паттернам, которые можно использовать без раскрытия личности.

В таких случаях ИИ-обезличивание применяется для маскировки идентификаторов при сохранении ценности данных для анализа. Например, в Tinkoff реализованы решения, позволяющие анонимизировать поведение клиента при тестировании новых функций и построении ML-моделей [8]. Модели сохраняют динамику операций, категории трат и сценарии поведения, но исключают идентифицирующие данные.

Такой подход обеспечивает соблюдение требований закона и внутренней политики безопасности без ущерба для продуктовой аналитики.

5.3. Здравоохранение и медицинские ИС

В медицинской сфере обезличивание данных особенно критично. Электронные медицинские карты, снимки, лабораторные показатели — всё это содержит персональную и биометрическую информацию. Однако такие данные необходимы для научных исследований, управления ресурсами и разработки ИИ-моделей диагностики.

ИИ-обезличивание применяется для:
— удаления лицевых признаков с МРТ и КТ с помощью сверточных нейросетей;
— генерации синтетических данных на основе реальных записей пациентов;
— построения обезличенных выборок для обучения моделей без доступа к оригиналам.

В частности, в клиниках Mayo Clinic применяются гибридные решения, где ИИ-модель удаляет идентификаторы, а эксперты контролируют медицинскую точность [9]. Это обеспечивает баланс между научной пользой и правовой безопасностью.

Примеры из банковской и медицинской отраслей подтверждают, что интеграция ИИ-обезличивания в инженерные процессы позволяет сочетать юридическую корректность, гибкость разработки и аналитическую ценность данных.

В условиях усложнения информационных систем и роста требований к защите персональных данных, обезличивание становится неотъемлемой частью жизненного цикла разработки. Традиционные методы, несмотря на их простоту, всё чаще оказываются недостаточными для обеспечения реальной приватности. Они не учитывают взаимосвязей между данными, не адаптируются к контексту и могут разрушать аналитическую ценность информации. Использование искусственного интеллекта позволяет преодолеть эти ограничения: ИИ-решения способны анализировать структуру данных, автоматически выявлять чувствительные признаки, адаптироваться к предметной области и выполнять обезличивание с минимальными потерями. Это особенно важно в процессе разработки ИС, где данные используются многократно: при тестировании, обучении моделей, интеграции и анализе. Примеры из финансовой и медицинской практики показывают, что интеллектуальные подходы уже успешно применяются в реальных проектах. ИИ-инструменты интегрируются в пайплайны разработки, повышая как безопасность, так и эффективность процессов. Архитектуры таких систем включают в себя модули класси-

фикации, предобработки, контролируемой генерации и валидации — всё это делает обезличивание частью инженерной практики.

Таким образом, ИИ-обезличивание — это не только способ соблюдения требований закона, но и технологически зрелый инструмент, позволяющий разрабатывать информационные системы более гибко, безопасно и масштабируемо. В будущем можно ожидать дальнейшего распространения таких решений, их стандартизации, а также более глубокой интеграции с аналитикой, машинным обучением и безопасной архитектурой хранения данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алгоритмы реализации методов обезличивания персональных данных в распределённых информационных системах [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/algoritmy-realizatsii-metodov-obezlichivaniya-personalnyh-dannyh-v-raspredelennyh-informatsionnyh-sistemah (дата обращения: 18.05.2025).
2. General Data Protection Regulation (GDPR) [Электронный ресурс] // Официальный портал Европейской комиссии. — URL: https://gdpr.eu/ (дата обращения: 18.05.2025).
3. Автоэнкодеры: типы архитектур и применение [Электронный ресурс] // Neurohive. — URL: https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/avtojenkoder-tipy-arhitektur-i-primenenie/ (дата обращения: 18.05.2025).
4. Differential Privacy: A Primer for a Non-technical Audience [Электронный ресурс] // OpenMined. — URL: https://blog.openmined.org/differential-privacy-a-primer-for-a-non-technical-audience/ (дата обращения: 18.05.2025).
5. Google Cloud Data Loss Prevention [Электронный ресурс]. — URL: https://cloud.google.com/dlp (дата обращения: 18.05.2025).
6. IBM Watson Knowledge Catalog [Электронный ресурс]. — URL: https://www.ibm.com/cloud/watson-knowledge-catalog (дата обращения: 18.05.2025).
7. Amazon Macie [Электронный ресурс]. — URL: https://aws.amazon.com/macie/ (дата обращения: 18.05.2025).
8. Парадокс ИИ и конфиденциальности данных, а также будущее совместной работы с личными данными [Электронный ресурс] // AppsFlyer. — URL: https://www.appsflyer.com/ru/blog/ceo/ai-privacy-data-collaboration/ (дата обращения: 18.05.2025).
9. AI in Healthcare: Using Artificial Intelligence for Patient Privacy [Электронный ресурс] // Mayo Clinic Platform. — URL: https://platform.mayoclinic.org/articles/ai-and-healthcare-privacy (дата обращения: 18.05.2025).

© Шевцова Галина Александровна (shevtsova-g@mail.ru); Добринов Кирилл Павлович (kpdobrinov@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.06

РОЛЬ КОМОРБИДНОЙ ПАТОЛОГИИ В ПАТОГЕНЕЗЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПАРОДОНТА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

THE ROLE OF GENERAL SOMATIC PATHOLOGY IN THE PATHOGENESIS OF DISEASES OF THE MUCOUS MEMBRANE AND ATROPHY OF THE ALVEOLAR PROCESSES OF THE JAWS

A. Beloturova
E. Ovcharenko
O. Neplyuk
S. Severinova
O. Irza

Summary. The relevance of the topic of this study is due to the progressive growth of periodontal diseases, which, according to WHO, occupy the second place in the structure of pathological conditions of the oral cavity. At the same time, the development of generalized inflammatory and destructive changes in the tissues of the periodontal complex is presented in most modern scientific studies as a local manifestation of systemic pathology. The relationship between the progression of periodontal tissue damage and the presence of general somatic diseases has been repeatedly proven experimentally. Moreover, the severity and duration of the latter directly affects similar indicators of the course of pathological conditions in the tissues of the periodontal complex.

Keywords: periodontal diseases, bronchial asthma, hypertension, thyroid diseases.

Белотурова Арина Александровна
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
abeloturova@mail.ru
Овчаренко Елена Николаевна
кандидат медицинских наук, доцент, ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
elena-ovcharenko17@rambler.ru
Непрелюк Ольга Анатольевна
кандидат медицинских наук, доцент, ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
oneprelyuk@mail.ru
Северинова Светлана Константиновна
кандидат медицинских наук, доцент, ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
severinova_sk@mail.ru
Ирза Оксана Леонтьевна
кандидат медицинских наук, доцент, ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
oksanastomat@yandex.ru

Аннотация. Актуальность темы настоящего исследования обусловлена прогрессирующим ростом заболеваний пародонта, которые по данным ВОЗ занимают второе место в структуре патологических состояний полости рта. При этом развитие генерализованных воспалительных и деструктивных изменений в тканях пародонтального комплекса в большинстве современных научных исследований представлено, как локальное проявление системной патологии. Связь прогрессирования явлений поражения тканей пародонта и наличия общесоматических заболеваний неоднократно была доказана экспериментально. Более того, тяжесть и длительность последних напрямую влияет на аналогичные показатели течения патологических состояний в тканях пародонтального комплекса.

Несмотря на большое число исследований, посвященных вопросам синтропии болезней пародонта и общесоматической патологии, патогенетические механизмы развития патологии пародонтального комплекса еще долго будут в зоне повышенного внимания практических врачей и исследователей.

Ключевые слова: заболевания пародонта, бронхиальная астма, гипертоническая болезнь, заболевания щитовидной железы.

Введение

На сегодняшний день болезни пародонта занимают одно из лидирующих мест в структуре патологий органов и тканей полости рта. По обобщённым данным независимых экспертов ВОЗ, воспалительные заболевания пародонта выявляются у 90–95 % взрослого населения. При этом доказано, что в большинстве случаев патогенез дистрофических и воспалительных процессов в пародонтальных тканях обусловлен структурно-метаболическими и гемодинамическими нарушениями, которые имеют системный

характер и развиваются на фоне общесоматической патологии [1–5]

В настоящее время проблема коморбидности заболеваний пародонта и соматической патологии является весьма актуальной и приобретает глобальные масштабы. В 2024 году Европейские организации по пародонтологии и семейной медицине совместно опубликовали согласованный отчёт, в котором подробно описана взаимосвязь между заболеваниями пародонта и системными заболеваниями [6]. Совместное мероприятие EFP (Европейская Федерация пародонтологии) и Европейского отделения Всемирной организации семейных врачей (WONCA Europe) было направлено на разработку стратегии раннего выявления пародонтита в центрах первичной медико-санитарной помощи и сердечно-сосудистых заболеваний в стоматологических клиниках.

Характерной чертой коморбидных заболеваний является их взаимоотягощающее влияние, которое необходимо учитывать при выборе подходов к диагностике и лечению [7]. Изучение связи между данными заболеваниями может быть важным для оптимизации терапевтических и профилактических подходов к медицинскому сопровождению как больных с соматической патологией, так и стоматологических пациентов.

Целью данного исследования являются изучение и систематизация имеющихся в литературе сведений об ассоциации между соматической патологией и пародонтитом, рассмотрение возможных механизмов, объясняющих эту связь, а также определение необходимости участия узкопрофильных специалистов для своевременного обнаружения коморбидной патологии и назначения адекватной терапии.

Анализ и обсуждение

Учитывая высокую распространенность болезней пародонта у пациентов с патологией бронхолегочной системы, большинство авторов высказывают предположение о синтропии данных нозологий. Главным этапом формирования такой синтропии является дискоординация ряда регулирующих механизмов, способствующих развитию нарушений регионарной гемодинамики в пародонтальных тканях. При этом выраженность клинико-патоморфологических изменений в околозубных тканях коррелирует с тяжестью и длительностью системного заболевания [7].

Одну из причин быстрого прогрессирования воспалительных заболеваний пародонта многие авторы видят в нарушении микроциркуляции и перфузии тканей пародонта в результате гипоксических явлений. В результате происходит снижение базального кровотока, запускается каскад метаболических нарушений, что, в свою очередь, является пусковым механизмом развития атрофических процессов и воспалительных явлений.

В научных исследованиях некоторых авторов отмечено, что категория пациентов, в анамнезе которых имеется бронхиальная астма (БА), имеют обусловленные общесоматической патологией микроциркуляторные нарушения, существенное снижение перфузии тканей пародонта и, как следствие, гипоксические явления. Более того в период обострения БА или в период поддерживающей терапии во время ремиссии предполагается ингаляционное ведение глюкокортикостероидных препаратов. Последнее имеет не только местное, но и общее негативное влияние на ткани полости рта. В результате микроциркуляторных расстройств, возникающих в околозубных тканях, в том числе связочном аппарате зуба, получают развитие обменно-деструктивные и воспалительные нарушения в тканях пародонта. Таким образом, базальный кровоток у больных с БА является предметом активного изучения с целью выявления связи с заболеваниями тканей полости рта и явлениями деструкции костной ткани [8].

В эксперименте по изучению состояния сосудистой сети тканей полости рта у пациентов с БА методом лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ) было задействовано несколько групп людей: первая группа — пациенты без признаков выраженной общесоматической патологии; вторая группа — больные с выраженными проявлениями бронхиальной астмы. Датчик лазерного анализатора кровотока устанавливали на ткани десны, получая доплерограмму на мониторе. Производился расчет параметров, в том числе показателя микроциркуляции (показывает средний уровень кровоснабжения исследуемого участка), коэффициента вариации, среднеквадратичного отклонения (показывает временную изменчивость кровоснабжения) и других величин. Анализ параметров кровоснабжения тканей пародонта у лиц с выраженными проявлениями бронхиальной астмы позволил сделать вывод о существенном снижении значений микроциркуляции, а также о явлении спастико-стастического типа перфузии [9].

Еще одно исследование, наглядно отображающее влияние БА на ткани пародонта, скорость и степень деструкции, предполагало обследование более 100 пациентов с БА. Пациенты были разделены на три группы: с легкой (около 17 %), средней (около 50 %) и тяжелой степенью тяжести (32 %) бронхиальной астмы. Четвертой была контрольная группа условно здоровых людей без признаков БА. В качестве оцениваемых показателей изучался папилярно-маргинально-альвеолярный индекс (PMA %). Результаты были следующими: заболевания тканей пародонта у лиц, страдающих бронхиальной астмой, наблюдались в 82,1 % случаев (в том числе в 57 % случаев отмечалась кровоточивость десен, у 15 % — зуб-

ной камень). Что же касается группы контроля, то заболевания тканей пародонта в ней встречались на 34,1 % реже и составили 48,0 % (в том числе в 39,1 % случаев отмечалась кровоточивость десен, у 9,38 % — зубной камень). По мере нарастания степени тяжести БА РМА прогрессивно ухудшался и был максимальным. Он составил для лиц с тяжелой степенью тяжести около 81,1 %, средней — около 68,4 %, с легкой — приблизительно 51,3 %. Аналогичный же показатель контрольной группы составил 47,5 % [10–11].

Одним из главных механизмов в патогенезе заболеваний пародонта при гипертонической болезни (ГБ) являются микроциркуляторные нарушения, вызванные явлениями гипоксии и окислительного стресса. Установлено, что чем более длительное течение ГБ отмечается у пациента, тем явления патологии тканей полости рта выражены интенсивнее [12,13]. В исследовании по изучению состояния тканей пародонта производилась оценка патологических изменений на примере группы из 27 человек, страдающих ГБ 2 степени. Производилась оценка ряда показателей, в том числе индекса нуждаемости в лечении тканей пародонта (CPITN), пародонтального индекса (PI). При помощи реоэнцефалографии изучали региональные гемодинамические показатели, оценивали интенсивность процессов свободно-радикального окисления, скорости быстрого и медленного кровенаполнения и так далее. Результаты показали, что признаки воспалительно-деструктивных явлений отмечаются у всех исследуемых, а у 20 из 27 они носят генерализованный характер [13–14]. Таким образом, нарушения в сосудистой сети в регионе шеи и головы ведут к воспалительно-деструктивным заболеваниям и последующей прогрессирующей атрофии альвеолярного отростка. Оценка этих показателей позволила сделать вывод о том, что ключевыми механизмами, опосредующими формирование ассоциации между ГБ и пародонтитом, являются воспаление и окислительный стресс, вызывающие ухудшение структурно-функциональных свойств артериальных сосудов, за которым последует апоптоз эндотелия [15–16].

Соматические заболевания, сопутствующие генерализованному пародонтиту, объединяет общая тенденция к накоплению в крови промежуточных и конечных продуктов перекисного окисления липидов (диеновых конъюгатов и малонового диальдегида). При этом, гемодинамические нарушения, вызванные ГБ, могут способствовать развитию локального воспаления в тканях пародонта. Таким образом, основным патогенетическим механизмом, опосредующим связь пародонтита и ГБ, является окислительный стресс [17–18].

Важную информацию по изучаемому вопросу предоставляют работы, в которых изучается связь ГБ с активностью пародонтального воспаления. Исследование, проведенное в Швеции и включавшее 4254 участника в широком возрастном диапазоне, показало, что взаимосвязь между пародонтитом и ГБ увеличивается с увеличением степени тяжести поражения пародонта [19]. De Stefano F. с соавт. отметил, что увеличение случаев смертности от сердечной недостаточности наблюдалось по мере увеличения распространенности тяжелых форм пародонтита [20].

При этом анализ данных литературных источников позволяет предположить возможность влияния лечебных мероприятий, используемых при пародонтите, на состояние сосудистого русла и уровень АД. Установлено, что это влияние может реализоваться посредством значительного снижения уровня системного воспаления [21].

Оценке влияния пародонтологического лечения на уровень АД посвящено небольшое количество исследований, но полученные в них результаты свидетельствуют о том, что использование диагностических методов и, при необходимости, лечебных мероприятий по стоматологической реабилитации пациентов данной категории в алгоритм наблюдения больных с гипертонической болезнью может улучшить степень контроля АД [21–23].

Одним из основных факторов, от которого напрямую зависит стоматологический статус пациента, является гормональный фон, в том числе и тиреодный статус [24]. Сопутствующие эндокринные заболевания организма, в частности патологии щитовидной железы, снижают общую сопротивляемость организма, его устойчивость к действию инфекционной агрессии и предрасполагают к возникновению и прогрессированию воспаления в пародонте, что неизбежно приводит к утрате зубов.

Согласно статистическим данным, у больных гипертиреозом в 100 % случаев отмечается тенденция к поражению зубов кариесом и развитию патологии пародонта. При гипофункции щитовидной железы имеют место явления генерализованного маргинального пародонтита с затяжным течением, выраженной рецессией десны и последующей скорой атрофией альвеолярного отростка [25].

В опыте на 190 белых крысах-самцах производилось индуцированное изменение тиреоидного статуса посредством введения тиреостатика мерказолила и доз L-тироксина. Результаты были следующими: в группе контроля (интактные крысы) степень рецессии десны составила 0,250, подвижность зубов — 0,125, атрофия альвеолярного отростка — 0,500. В группе крыс, получающих тиреостатик в течение 2-ух месяцев, степень рецессии десны увеличилась на 21 %, атрофии альвеолярного отростка на 31 %, превышая группу контроля

по данным показателям на 32 и 36 % соответственно. Степень подвижности зубов также неуклонно возрастала. Следовательно, угнетение функции щитовидной железы приводит к существенным воспалительно-деструктивным явлениям околозубных тканей. В группе, где происходил прием гормонов щитовидной железы в концентрациях близких к физиологической норме изменения в околозубных тканях не происходили [25].

Таким образом, учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что для формирования алгоритма лечения заболеваний пародонта с учетом особенностей назначения комплексной терапии врачу-стоматологу необходимы сведения о наличии, степени тяжести и течении патологии внутренних органов и систем, а также о текущей стадии (компенсации или декомпенсации) этих заболеваний. С целью анализа качества специализированной помощи пациентам с патологией пародонта и соматическими заболеваниями в городских стоматологических поликлиниках было изучено 500 стоматологических медицинских карт и анкет здоровья пациентов от 18 до 80 лет, а также проанализированы данные пациентов в АРМ поликлинике. При анализе амбулаторных карт и анкет здоровья пациентов с воспалительными процессами в пародонте сопутствующие заболевания отмечали в 8,4 % случаев, однако по данным АРМ поликлиники (модуль медицинской информационной системы) доля распространения соматической патологии была больше в 3,5 раза и составила 29 % [26]. Отсутствие данной информации не позволяет составить для стоматологической реабилитации пациентов с коморбидной патологией патогенетически обоснованный комплексный план лечебных мероприятий с учетом фоновой патологии.

Вывод

На основании проведённого анализа данных литературных источников можно сделать вывод о непосредственной взаимосвязи патологических процессов в тканях полости рта и общесоматических патологий. Полученные данные указывают на необходимость разработки стоматологических программ профилактики и диспансерного наблюдения пациентов с бронхиальной астмой, гипертонической болезнью, а также с нарушениями функции щитовидной железы, которые являются фактором риска и неблагоприятного течения хронических воспалительных заболеваний пародонта. Мероприятия по стоматологической реабилитации данной категории больных должны определяться с учетом универсальных патогенетических механизмов развития сочетанной патологии, при этом пародонтологическая помощь должна оказываться с учетом наличия сопутствующего заболевания с обязательной консультацией, наблюдением и коррекцией назначаемой медикаментозной терапии у терапевта, эндокринолога, кардиолога и у других специалистов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбачева И.А. Кирсанов А.И., Орехова Л.Ю. Единство системных патогенетических механизмов при заболеваниях внутренних органов, ассоциированных с генерализованным пародонтитом // Стоматология. — 2004. — № 3. — С. 6–11.
2. Nemesh O.M., Honta Z.M., Slaba O.M., Shylivskyi I.V. Pathogenetic mechanisms of comorbidity of systemic diseases and periodontal pathology //Wiad Lek. — 2021— Vol. 74 — №5— P.1262–1267.
3. Бекжанова О.Е., Ризаев Э.А. Роль коморбидной патологии в развитии и тяжести течения заболеваний пародонта //Журнал биомедицины и практики — 2023— Т. 1, № 4.— С. 49–58. DOI:10.26739/2181-9300-2021-4-7.
4. Кильмухаметова Ю.Х., Батиг В.М., Абрамчук И.И. Заболевания пародонта на фоне соматических патологий // Молодой ученый. — 2017. — № 26 (160). — С. 57–62.
5. Ханахок Х.Ю., Скорикова Л.А. Состояние тканей пародонта у жителей республики Адыгея с общесоматическими заболеваниям // Кубанский научный медицинский вестник. — 2013. — №6. — С. 184–185.
6. Herrera D., Sanz M., Shapira L., Brotons C., Chapple I., Frese T., Graziani F., Hobbs FDR., Huck O., Hummers E., Jepsen S., Kravtchenko O., Madianos P., Molina A., Ungan M., Vilaseca J., Windak A., Vinker S. Periodontal diseases and cardiovascular diseases, diabetes, and respiratory diseases: Summary of the consensus report by the European Federation of Periodontology and WONCA Europe. Eur J. Gen Pract. 2024 Dec;30(1):2320120. doi: 10.1080/13814788.2024.2320120. Epub 2024 Mar 21. PMID: 38511739; PMCID: PMC1096donta-дата обращен
7. Грудянов А.И., Кречина Е.К., Ткачева О.Н., Авраамова Т.В., Хатагов А.Т. Взаимосвязь воспалительных заболеваний пародонта с сердечно-сосудистыми заболеваниями. — Москва, 2018. — 46 с.
8. Бродская Т.А., Невзорова В.А., Гельцер Б.И. Дисфункция эндотелия и болезни органов дыхания // Терапевтический архив. — 2007. — № 3. — С. 76–84.
9. Саркисов К.А., Полунина О.С., Брагин Е.А., Воронина Л.П., Нуржанова И.В. Состояние базального кровотока у больных хроническим пародонтитом на фоне бронхиальной астмы // Астраханский медицинский журнал. — 2010 — №3 — С. 100–103.
10. Исамулаева А.З., Данилина Т.Ф. , Башкина О.А., Д.Ф. Сергиенко Д.Ф. Изменение состояния тканей пародонта у детей с бронхиальной астмой // Астраханский медицинский журнал. — № 6(1)— С. 70–72.
11. Крылова В.Ю. Оценка состояния полости рта у больных бронхиальной астмой: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – СПб., 2009. — 37 с.
12. Булкина Н.В. Патогенетическая взаимосвязь и взаимовлияние воспалительных заболеваний пародонта с патологией сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта // Клиническая стоматология. — 2010. — № 2. — С. 28–29.

13. Сычева Ю.А., Горбачева И.А., Орехова Л.Ю., П.С. Шабак-Спасский, Владимирова Л.Г. Роль нарушения региональной микроциркуляции и метаболических нарушений в патогенезе гипертонической болезни и воспалительных заболеваний пародонта // Учебные записки СПбГМУ им. Акад. И.П. Павлова — 2013— Т. XX, № 3 — С.34–36.
14. Кречина, Е.К., Смирнова Т.Н. Изменение показателей микроциркуляции при воспалительных заболеваниях пародонта // Российская стоматология. — 2017. — №1. — С.16–17
15. Кашкина А.А., Меркульева К.С., Николаев Н.И. Взаимосвязь заболеваний пародонта с заболеваниями сердечно — сосудистой системы // В сб. тр. конф.«European Research». — Пенза, 2018. — С. 124–126.
16. Цепов Л.М., Николаев А.И., Нестерова М.М., Цепова Е.Л., Цепов А.Л. Множественные хронические системные заболевания и патология пародонта // Пародонтология. — 2019 — № 2 — С. 127–131. DOI :10.33925/1683-3759-2019-24-2-127-131
17. Анисимова Е.Н., Рязанцев Н.А., Раскуражев А.А., Танашян М.М., Филиппова М.П., Садулаев А.Х., Лабзенкова М.А. Взаимосвязь воспалительных заболеваний полости рта с патологией сердечно-сосудистой системы. Обзор литературы и определение уровня стоматологического просвещения // Пародонтология. — 2019 — №4 — С. 301–307. DOI: 10.33925/1683–3759-2019-24-4-301-307
18. Morita T., Yamazaki Y., Mita A., Takada K., Seto M., Nishinoue N. et al. A cohort study on the association between periodontal disease and the development of metabolic syndrome // J. Periodontol. — 2010 — №81(4) — P.512–519. DOI:10.1902/jop.2010.090594
19. Morita T., Yamazaki Y., Fujiharu C., Ishii T., Seto M., Nishinoue N. et al. Association between the duration of periodontitis and increased cardiometabolic risk factors: a 9year cohort study// Metab Syndr Relat Disord. — 2016— №14(10) — P.475–482
20. De Stefano F. Dental disease, and risk of coronary heart disease and mortality // Brit. Med. J. — 1993. — Vol. 306. — P. 688–691
21. Slade G.D., Ghezzi E.M., Heiss G., Beck J.D., Riche E., Offenbacher S. Relationship between periodontal disease and Creactive protein among adults in the Atherosclerosis Risk in Communities study// Arch Intern Med. — 2003 — Vol.163(10) — P.1172–1179.
22. Torumtay G., Kırzıoğlu F.Y., Öztürk Tonguç M., Kale B., Calapoğlu M., Orhan H. Effects of periodontal treatment on inflammation and oxidative stress markers in patients with metabolic syndrome// J. Periodontal Res. — 2015— Vol.51(4)— P.489–498. DOI :10.1111/jre.12328
23. Погодина А.В., Валявская О.В., Колесникова Л.Р., Рычкова Л.В., Колесников С.И. Артериальная гипертензия и пародонтит: ключевые аспекты коморбидности // Артериальная гипертензия. — 2019 — №25(6)— С.682–692
24. Исследование клинических показателей у больных с гипертиреозом на фоне непереносимости к акриловым пластмассам Куликов А.С., Ирза О.Л., Непрелюк О.А., Кушнир К.Г., Северинова С.К., Герасименко Ф.И., Жадько С.И. // Современная ортопедическая стоматология— 2018— № 29. — С. 8–12.
25. Кореневская Н.А., Городецкая И.В. Состояние тканей маргинального периодонта при хроническом стрессе в зависимости от тиреоидного статуса организма // Вестник ВГМУ/ — 2010, том 9 — №1 — С. 1–8.
26. Токмакова С.И., Кузикова В.А., Бондаренко О.В., Воблова Т.В., Мокренко Е.В. Качество оказания помощи пациентам с воспалительными заболеваниями пародонта при сопутствующей соматической патологии // Клиническая стоматология. — 2022 — № 25 (1)— С. 122–129. DOI: 10.37988/1811-153X_2022_1_122.

© Белотурова Арина Александровна (abeloturova@mail.ru); Овчаренко Елена Николаевна (elena-ovcharenko17@rambler.ru);
Непрелюк Ольга Анатольевна (oneprelyuk@mail.ru); Северинова Светлана Константиновна (severinova_sk@mail.ru);
Ирза Оксана Леонтьевна (oksanastomat@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.09

ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ТРЕХМЕРНОЙ ОРИЕНТАЦИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ, ВЕСТИБУЛЯРНОЙ И ОККЛЮЗИОННОЙ ПЛОСКОСТЕЙ

Бир Мария Сергеевна
Врач стоматолог-ортодонт,
Международная Медицинская Ассоциация
«Университет Здоровья БРИКС»
gyporov@yandex.ru

Аннотация. Статья представляет интегративный подход к анализу пространственной ориентации трех ключевых плоскостей черепа — оптической, вестибулярной и окклюзионной. Целью исследования является разработка методологии комплексной оценки их взаимного расположения и функциональной взаимозависимости для диагностики и коррекции патологий прикуса. Методология основана на томографическом анализе 956 пациентов различных возрастных групп с применением специализированного протокола центрирования черепа по стабильным костным ориентирам. Результаты выявили четыре основных типа соотношений наклонов верхней челюсти и орбит, а также подтвердили функциональную взаимосвязь между исследуемыми постуральными плоскостями. Разработанный метод позволяет количественно оценивать наклоны и развороты постуральных плоскостей черепа, что существенно расширяет диагностические возможности при планировании ортодонтического лечения. Новизна работы заключается в создании воспроизводимого протокола трехмерной оценки постуральных плоскостей с использованием стабильных анатомических ориентиров, который обеспечивает точный мониторинг изменений даже при росте пациента или модификации зубного ряда. Исследование доказывает необходимость междисциплинарного подхода к диагностике и лечению зубочелюстных аномалий с учетом положения всех трех функционально взаимосвязанных плоскостей, что создает основу для эффективного сотрудничества ортодонтов, остеопатов и других специалистов.

Ключевые слова: компьютерная томография, постуральные плоскости, оптическая плоскость, вестибулярная плоскость, окклюзионная плоскость, клиновидная кость.

INTEGRATIVE APPROACH TO THE ANALYSIS OF THREE-DIMENSIONAL ORIENTATION AND FUNCTIONAL INTERDEPENDENCE OF OPTICAL, VESTIBULAR AND OCCLUSION PLANES

M. Bier

Summary. The article presents an integrative approach to the analysis of spatial orientation of three key planes of the skull — optical, vestibular, and occlusal. The aim of the study is to develop a methodology for a comprehensive assessment of their mutual arrangement and functional interdependence for the diagnosis and correction of bite pathologies. The methodology is based on a tomographic analysis of 956 patients of different age groups using a specialized protocol for centering the skull on stable bone landmarks. The results revealed four main types of relationships between the inclinations of the maxilla and orbits and confirmed the functional relationship between the studied postural planes. The developed method allows quantitative assessment of the tilts and rotations of the postural planes of the skull, which significantly expands the diagnostic capabilities in planning orthodontic treatment. The novelty of the work lies in the creation of a reproducible protocol for three-dimensional assessment of postural planes using stable anatomical landmarks, which ensures accurate monitoring of changes even with patient growth or modification of the dentition. The study proves the need for an interdisciplinary approach to the diagnosis and treatment of dentoalveolar anomalies considering the position of all three functionally interconnected planes, which creates the basis for effective cooperation between orthodontists, osteopaths, and other specialists.

Keywords: computed tomography, postural planes, optical plane, vestibular plane, occlusal plane, sphenoid bone.

Патология прикуса в современной диагностике рассматривается не как изолированное смещение челюстей и зубов, а как проблема всего черепа. Современные возможности компьютерной томографии позволяют визуализировать расположение и размеры костей основания черепа, их деформации, логичным завершением которых является патология прикуса. Взаимное расположение зубов формируется на протяжении первых 12–14 лет жизни человека, тогда как кости основания черепа закладываются эмбриионально раньше других костей черепа. Темпы оссификации передних отделов основания черепа значительно варьируют, однако к 3 годам 10 месяцам у 100 % индивидов этот процесс завершается [2]. К 7 годам основание черепа и затылочное отверстие достигают относительно постоянной величины, происходит резкое замедление в развитии

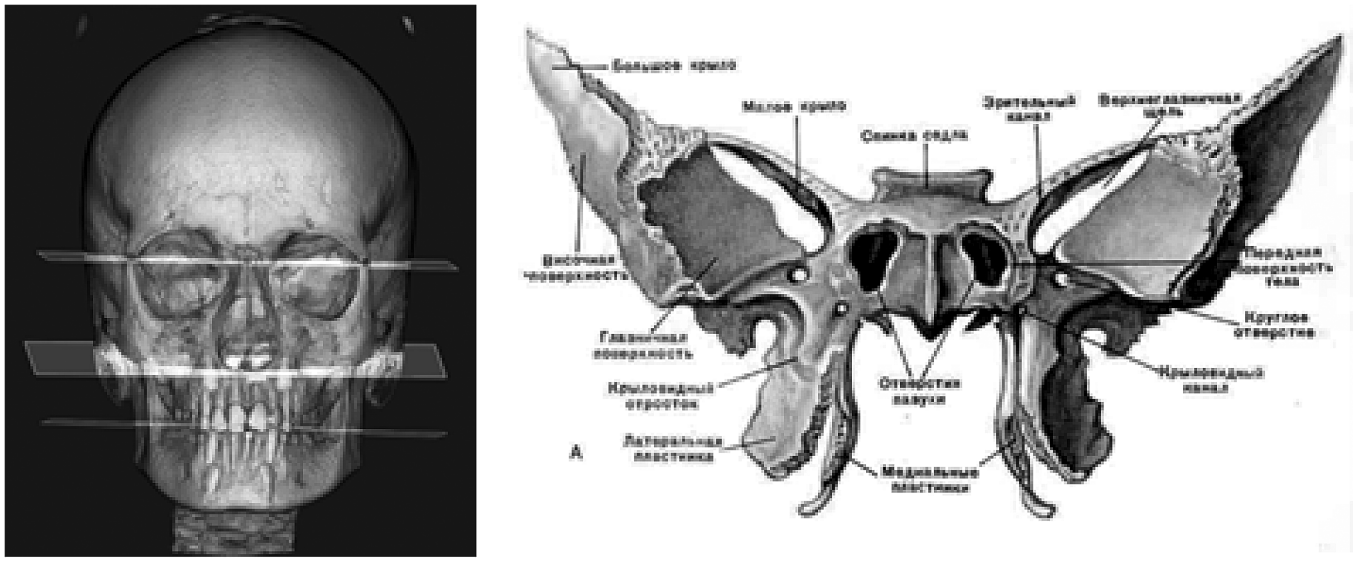


Рис. 1. Строение клиновидной кости

черепа. С 7 до 13 лет рост основания черепа еще больше замедляется.

В остеопатической практике известны семь видов деформации соотношения клиновидной и затылочной кости, что приводит к смещению, разворотам и наклонам верхней и нижней челюсти, вызывающим асимметрии лица и патологию прикуса. Неврологи, остеопаты и мануальные терапевты рассматривают деформацию черепа как причину возникновения постуральных проблем, болей в шее, тазу, ногах [4].

Исторически создание референсных плоскостей было актуально в эпоху развития артикуляторов, когда референсная плоскость требовалась для точного повторяемого переноса положения верхней челюсти. В ортопедической стоматологии чаще всего применяются франкфуртская и камперовская горизонтали. Недостаток этих плоскостей в том, что они фиксируют положение верхней челюсти относительно плоскости, проходящей через три костные точки, находящиеся на верхней челюсти и в ушных проходах, но не отражают нарушения в более верхних отделах лицевого черепа, в частности, оптической плоскости и уровня глаз. Также используется natural head position (чаще в цифровых системах). Задача этой формы переноса ориентиров состоит в том, чтобы положение головы было воспроизводимо в той же позиции. Однако в клинической практике голова может изменить свое положение после приема остеопата, мануального терапевта, физической нагрузки или в результате стоматологического лечения, что не позволяет использовать эту позицию как референс для определения положения верхней челюсти в пространстве [3].

Для точной диагностики необходимы стабильные костные ориентиры, по которым всегда можно поставить голову в одну и ту же позицию и определить расположение в черепе положения верхней челюсти, вестибулярного аппарата и глаз. Даже если пациент растет, меняются зубы, происходят изменения во время лечения, должна быть отправная точка, относительно которой можно произвести измерение этих изменений [9].

Нами предлагается система из трех основных плоскостей — оптической, вестибулярной и окклюзионной.

Глазничная поверхность участвует в образовании костной стенки глазницы, а медиальные и латеральные пластинки крыловидного отростка соединяются с небными костями и образуют соединение с верхней челюстью. Изучая костные швы между лобной, скуловой и клиновидной костью в области латерального края глазницы, можно определить наклон глазниц вправо или влево и сделать выводы о крене оптической плоскости.

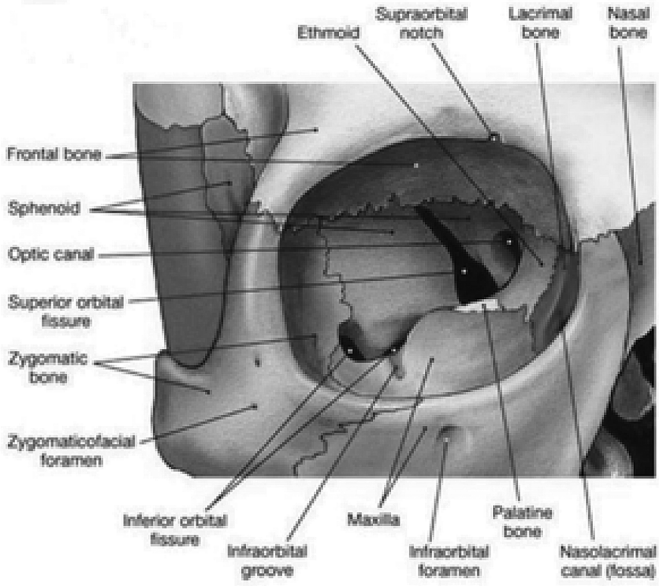


Рис. 2. Анатомия костных структур орбиты человека

Оптическая плоскость ранее была рассчитана в цефалометрии докторами Sassouni, Bjestl и Gerber [7]. По их данным, эта плоскость стабильна относительно горизонта. Если человек стоит и смотрит вперед на горизонт, то оптическая плоскость параллельна горизонту.

Окклюзионная сфера Монсона — инструмент для построения идеальной окклюзионной плоскости по индивидуальным параметрам [11,13]. Она представляет собой комбинацию кривой Шпее и кривой Уилсона и рассматривается в двух плоскостях — сагиттальной и фронтальной. Сфера Монсона применяется в виртуальном артикуляторе и используется как шаблон для виртуального выравнивания зубов с помощью 3D-программного обеспечения.

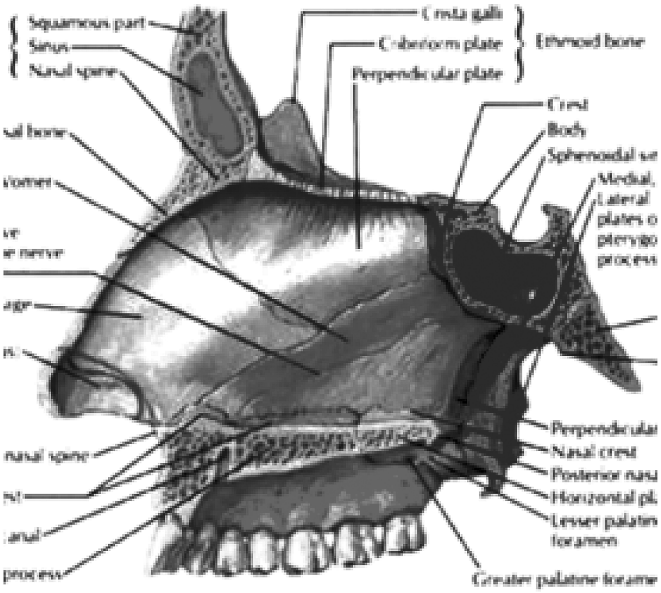


Рис. 3. Анатомия костных структур носовой полости и прилегающих отделов черепа

Наиболее четко изменения в окклюзионной плоскости отражают верхние седьмые зубы, так как они расположены максимально близко к небным костям и отображают изменения в расположении клиновидной кости. Эмбрионально клиновидная кость сформировалась раньше, чем верхняя челюсть и небные кости, и именно она оказывает влияние на крен и разворот верхней челюсти. Поэтому для расчета окклюзионной плоскости целесообразно использовать режущий край центрального резца и вершину небного бугра верхних вторых моляров.

Вестибулярный аппарат находится в костных образованиях — улитках, которые имеют стабильные формы и размеры у каждого человека и легко идентифицируются на КТ. Близость к центру головы позволяет минимизировать искажения в проведенной через них плоскости. Вестибулярная система играет, наряду со зрительной и соматосенсорной системами, ведущую роль в пространственной ориентации человека. Она получает, передает и анализирует информацию об ускорениях или замедлениях, возникающих в процессе прямолинейного или вращательного движения, а также при изменении положения головы в пространстве. При равномерном движении или в условиях покоя рецепторы вестибулярной сенсорной системы не возбуждаются. Импульсы от вестибулорецепторов вызывают перераспределение тонуса скелетной мускулатуры, обеспечивая сохранение равновесия тела. Эти влияния осуществляются рефлекторным путем через различные отделы ЦНС. В волосковых клетках преддверия и ампулы при их сгибании генерируется рецепторный потенциал, усиливающий выделение ацетилхолина и через синапсы активирующий окончания волокон вестибулярного нерва.

Вестибулярная система формирует сложные нейронные связи: к рецепторам подходят периферические волокна биполярных нейронов вестибулярного ганглия (первый нейрон); аксоны этих нейронов направляются к вестибулярным ядрам продолговатого мозга (второй нейрон); третий нейрон расположен в ядрах зрительного бугра, откуда возбуждение направляется в кору большого полушария; центральный отдел вестибулярного анализатора локализуется в височной области коры (четвертый нейрон). Вестибулярный тракт образует связи с мотонейронами шейного отдела спинного мозга, с ядрами глазодвигательного нерва, с ретикулярной формацией, таламусом, гипоталамусом, мозжечком и внутренними органами. В связи с вышесказанным необходимо найти плоскость, опирающуюся на стабильные точки черепа. Анализируя наименее изменяемые части черепа, которые растут вместе и заканчивают рост синхронно, нам удалось определить линию ANS-BA, которая максимально параллельна горизонту и может служить ориентиром при позиционировании черепа в пространстве. Эти точки демонстрируют общую тенденцию во время роста головы: лицевая часть черепа растет вниз и вперед, базиллярная часть затылочной кости (точка BA) растет от сфенобазиллярного синхондроза вниз. Таким образом, эти две точки опускаются параллельно при росте и могут оставаться надежным ориентиром в любом возрасте [1].

Вестибулярный аппарат постоянно фиксирует положение тела в пространстве и передает эту информацию в центральную нервную систему, которая регулирует тонус мышц, поддерживающих позу. Аналогичную информацию об ориентации тела передают зрительный нерв от глаз и тройничный нерв от зубов, ВНЧС и прикуса. Эти процессы происходят постоянно и не осознаются человеком [5, 8,12].

При нарушениях в расположении костной базы органов чувств — орбит, внутреннего слухового прохода, окклюзии, возникших в связи с деформацией костей че-

репа, постуральная система вынуждена адаптироваться к этим изменениям. Максимально сбалансированное и физиологичное взаиморасположение оптической, вестибулярной и окклюзионной плоскостей обеспечивает оптимальное функционирование организма в пространстве [6].

Методы и методика исследования

Настоящее исследование основывалось на анализе 956 компьютерных томограмм пациентов в возрастном диапазоне от 6 до 65 лет. Распределение выборки по возрастным группам было следующим: 25 % составили дети 6–10 лет, 30 % — подростки 10–14 лет, 35 % — лица молодого возраста 14–30 лет, и 10 % — взрослые 30–65 лет. Компьютерная томография выполнялась на аппаратах Planmeca, Watech и Siemens с использованием снимков размером 23x26 и 15x15. Для обработки данных применялось специализированное программное обеспечение, поставляемое вместе с томографами.

Методология исследования включала многоэтапный процесс анализа томографических снимков. На первом этапе проводилось центрирование черепа с выравниванием по сагиттальному шву, перпендикулярной пластинке решетчатой кости и месту прикрепления серпа к затылочной кости. Далее на фронтальном срезе идентифицировались улитки внутреннего уха с дополнительной коррекцией положения черепа для обеспечения попадания обеих улиток в один срез.

Система координат выстраивалась с горизонтальной осью, проходящей через точки ANS (передняя носовая ость) и Ba (базион). В рамках исследования оценивались три основные референсные плоскости: оптическая (определяемая латеральными краями глазниц), вестибулярная (определяемая положением улиток внутреннего уха) и окклюзионная (анализируемая по соединению небных костей с клиновидной костью и по положению жевательных зубов).

Для систематизации результатов были выделены четыре типа соотношений наклонов верхней челюсти и орбит: крен только верхней челюсти, крен только орбит, крен верхней челюсти и орбит в одну сторону, и крен верхней челюсти и орбит в разные стороны. В отдельных клинических случаях проводилось сравнение данных КТ до и после ортодонтического и остеопатического лечения для оценки эффективности терапевтических вмешательств.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования был разработан пошаговый протокол центрирования черепа с определением рефе-

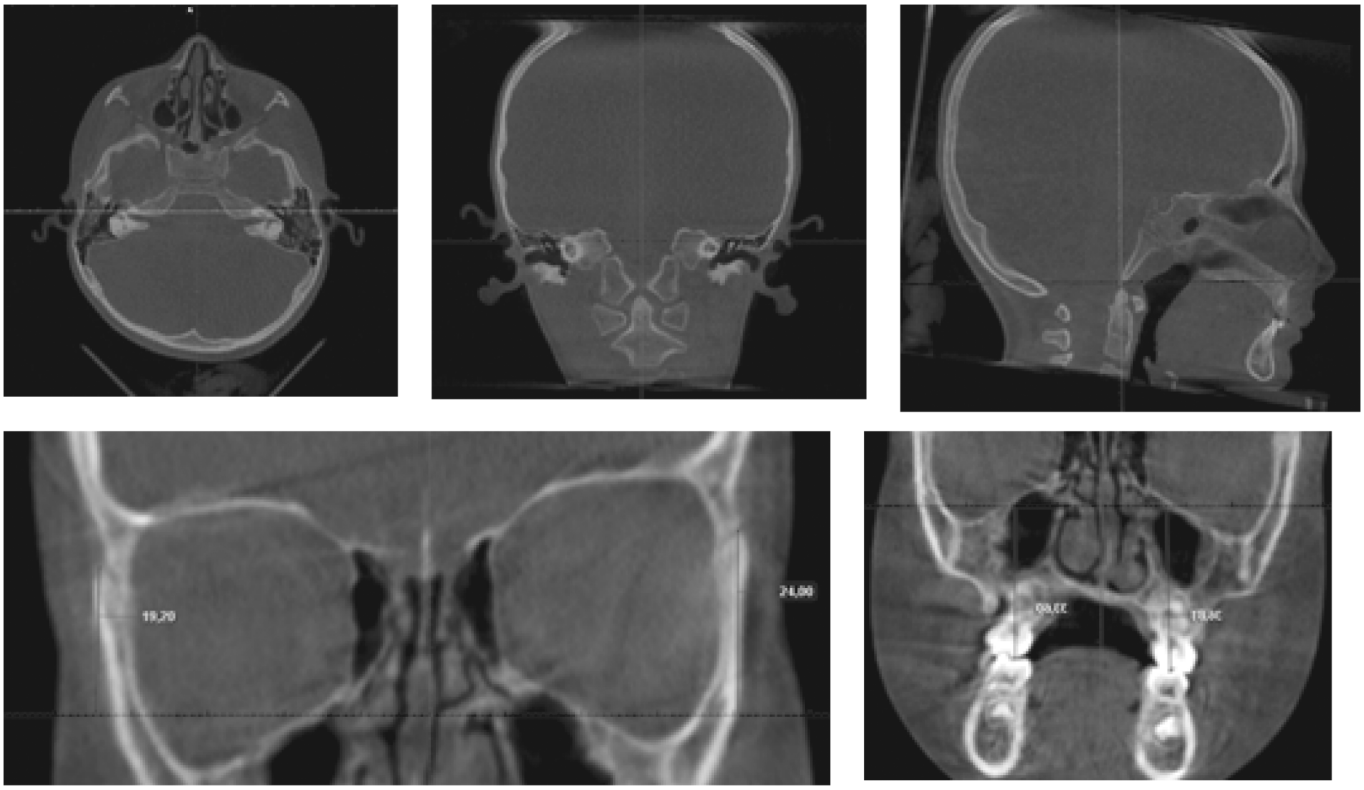


Рис. 4. Томографическая оценка пространственного положения структур черепа
(1 — Центрирование черепа; 2 — Идентификация улиток на фронтальном срезе; 3 — Определение горизонтальной оси координат по точкам ANS и Ba; 4— Измерение крена клиновидной кости в проекции орбит; 5 — Анализ крена верхней челюсти)

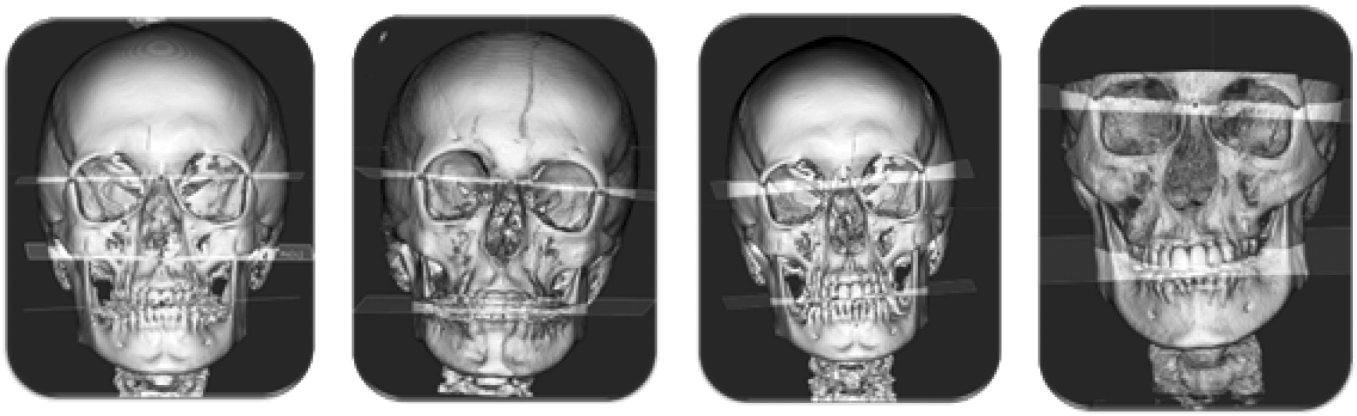


Рис. 5. Вариации пространственного положения верхней челюсти и орбит
(1 — крен только верхней челюсти, 2 — крен только орбит, 3 — крен верхней челюсти и орбит в одну сторону,
4 — крен верхней челюсти и орбит в разные стороны)

ренсных точек и плоскостей, обеспечивающий воспроизводимую установку головы в стандартную позицию. Данный метод позволил количественно оценивать наклоны и развороты постуральных плоскостей черепа, наклон клиновидной кости, а также изменения в размерах и положении верхней и нижней челюсти.

Анализ томографических данных подтвердил наличие четырех основных типов соотношений наклонов верхней челюсти и орбит, что имеет важное клиническое значение при планировании ортодонтического лечения. Систематизация данных о наклоне клиновидной кости позволила объективизировать результаты остеопатической коррекции и разработать схему дополнительных окклюзионных накладок для эффективной коррекции окклюзионной плоскости.

Исследование оптической плоскости подтвердило её стабильность относительно горизонта при взгляде вперед, что согласуется с ранее опубликованными работами Sassouni, Bjestl и Gerber. Детальное изучение соединения небных костей с клиновидной костью предоставило ценную информацию о наклоне верхнечелюстной плоскости, что расширяет диагностические возможности при оценке патологии прикуса. Особый интерес представляет анализ окклюзионной плоскости, которая имеет форму не плоскости в строгом смысле, а части сферы (сфера Монсона), проходящей через режущий край резцов и вершины бугров клыков, премоляров и моляров. Седьмые верхние зубы, благодаря их расположению вблизи небных костей, оказались наиболее информативными индикаторами изменений в окклюзионной плоскости и положении клиновидной кости.

Клинические случаи с анализом данных до и после ортодонтического и остеопатического лечения наглядно продемонстрировали эффективность интегративного подхода в коррекции постуральных нарушений черепа. Выявлена функциональная взаимозависимость между оптической, вестибулярной и окклюзионной плоскостями, что обосновывает необходимость комплексного подхода к диагностике и лечению зубочелюстных аномалий.

Выводы

Разработанный в ходе исследования метод расчета аномалий расположения костей основания черепа и челюстей по КТ существенно расширяет возможности диагностики и планирования лечения ортодонтических пациентов на основе анатомо-эмбриологических характеристик верхней и нижней челюсти. Определение трехмерной ориентации оптической, вестибулярной и окклюзионной плоскостей позволяет комплексно оценить характер и степень постуральных нарушений черепа, что имеет важное значение для выбора оптимальной тактики лечения.



Рис. 6. Пример исправления деформации положения костей лицевого черепа до и после ортодонтического и остеопатического лечения

Установленная функциональная взаимозависимость между исследуемыми плоскостями обосновывает необходимость междисциплинарного подхода к диагностике и лечению зубочелюстных аномалий с учетом положения всех трех плоскостей.

Разработанный пошаговый протокол центрирования черепа с выявленными стабильными костными ориентирами обеспечивает возможность точного мониторинга роста и лечения пациентов даже при изменении зубного ряда или положения головы. Систематизация типов наклонов верхней челюсти и орбит способствует индивидуализации планирования ортодонтического и остеопатического лечения, а также созданию персонализированных схем окклюзионных накладок для коррекции горизонта в области жевательных зубов.

Интегративный подход к анализу постуральных плоскостей черепа обеспечивает объективизацию диагностики и создает основу для эффективного междисциплинарного сотрудничества специалистов в лечении пациентов с нарушениями окклюзии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волотовский А.И., Студеникина Т.М. Развитие и рост костей черепа в пре- и раннем постнатальном периодах онтогенеза // Журнал Белорусского государственного университета. — 2022. — С. 66–73. DOI: 10.51922/2074–5044.2022.1.66.
2. Гольбин Д.А., Черекаев В.А. Вариабельность и возрастные особенности анатомии срединных структур передних отделов основания черепа // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. — 2018. — Т. 82, № 1. — С. 102–110.
3. Иванов В.В., Марков Н.М. Влияние зубочелюстной системы на постуральный статус пациента // Шея. — 2013. — № 51–3. — С. 83–87.
4. Мохов Д.Е., Ширяева Е.Е., Потехина Ю.П. и др. Остеопатия: соматические дисфункции региона головы и твердой мозговой оболочки. — СПб., 2019. — С. 155–168.
5. Amat P. Occlusion and posture: facts and beliefs // Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics. — 2008. — Vol. 11. — P. 186–211.
6. Bracco P., Deregibus A., Piscetta R. Effects of different jaw relations on postural stability in human subjects // Neuroscience Letters. — 2004. — Vol. 356, № 3. — P. 228–230. DOI: 10.1016/j.neulet.2003.11.055.
7. Gerber J.W. TMD Warning Sign: Cephalometrics // The Functional Orthodontist. — 1994. — Vol. 11, № 2. — P. 15–19.
8. Massion J. Postural control system // Current Opinion in Neurobiology. — 1994. — Vol. 4, № 6. — P. 877–887. DOI: 10.1016/0959-4388(94)90137-6.
9. Molina Caballero A.Y., Pérez Martínez A., Hernández Martín S., Ayuso González L., Pisón Chacón J. [Статья на испанском] // PMID: 28857534.
10. Morasso P., Casadio M., Mohan V., Rea F., Zenzeri J. Revisiting the body-schema concept in the context of whole-body postural-focal dynamics // Frontiers in Human Neuroscience. — 2015. — Vol. 9. — Art. 83. — P. 1–16. DOI: 10.3389/fnhum.2015.00083.
11. Nam S.E., Park Y.S., Lee W., Ahn S.J., Lee S.P. Making three-dimensional Monson's sphere using virtual dental models // J. Dent. — 2013. — Vol. 41. — P. 336–344.
12. Shanbhag J., Wolf A., Wechsler I. et al. Methods for integrating postural control into biomechanical human simulations: a systematic review // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. — 2023. — Vol. 20. — Art. 111. — P. 1–17.
13. Wang Y., Wang T., Chen J., Duan X., Liu D., Xiao D., Zhang C. Monson's sphere in Chinese young adult females with individual normal occlusion: a preliminary study using digital models // BMC Oral Health. — 2024. — Vol. 24. — Art. 962. — P. 1–7.

© Бир Мария Сергеевна (gypopov@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.17

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОФИЛАКТИКИ ТРОАКАРНЫХ ГРЫЖ ПОСЛЕ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКОЙ ХОЛЕЦИСТЭКТОМИИ

SOME TECHNICAL POSSIBILITIES FOR PREVENTION OF TROACAR HERNIA AFTER LAPAROSCOPIC CHOLECYSTECTOMY

S. Grivenko
A. Golomidov
A. Kalinichenko
K. Usmanova

Summary. The widespread introduction of laparoscopic operations in abdominal surgery and the minimization of complications from trocar wounds does not exclude the occurrence of postoperative trocar hernias (TH). A particularly high incidence of TH is observed after laparoscopic cholecystectomy (LCE) at the site of paraumbilical trocar placement. *Purpose of the study*: to analyze the results of surgical treatment of acute calculous cholecystitis and methods for preventing the occurrence of TH after LCE. *Material and methods*. A retrospective analysis of medical records of 116 patients who underwent LCE for acute calculous cholecystitis was carried out, followed by identification of methods for preventing their occurrence. *Research results*. When analyzing long-term results, there were no cases of TH occurrence in the study group of patients. This was facilitated by the introduction into clinical practice of developed methods for preventing the occurrence of TH in patients at risk, based on patented preventive prosthetic plastic surgery in trocar wounds. The leading factors contributing to the development of TH in patients in this group were additional trauma to trocar wounds and possible infection of the tissues of the anterior abdominal wall. The proposed methods are low-traumatic, since there is no need for additional fixation of the mesh with separate interrupted sutures along its lateral edge, technically simple, reliable, since the proposed types of mesh fixation prevent its dislocation in any direction. *Conclusion*. The developed methods for preventing the formation of TH after endovideosurgical operations have shown their effectiveness and can be recommended as the final stage of LCE and other minimally invasive operations if the patient has risk factors for the formation of TH.

Keywords: prevention, troacar hernia, laparoscopic cholecystectomy, preventive prosthetic plasty.

Гривенко Сергей Геннадиевич
Доктор медицинских наук,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
hryva@mail.ru
Голомидов Александр Николаевич
Кандидат медицинских наук,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
alex.golomidov@mail.ru
Калиниченко Алексей Павлович
Кандидат медицинских наук,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
zleonov40@yandex.ru
Усманова Тамила Эскандеровна
Кандидат медицинских наук,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
tamila.asp.doc@mail.ru

Аннотация. Широкое внедрение лапароскопических операций в абдоминальной хирургии и минимизация осложнений со стороны троакарных ран не исключает появления послеоперационных троакарных грыж (ТГ). Особенно высокая частота ТГ наблюдается после лапароскопической холецистэктомии (ЛХЭ) в месте установления параумбиликального троакара. *Цель исследования*: провести анализ результатов хирургического лечения острого калькулезного холецистита и методов профилактики возникновения ТГ после ЛХЭ. *Материал и методы*. Проведен ретроспективный анализ медицинских карт 116 пациентов, которым была выполнена ЛХЭ по поводу острого калькулезного холецистита с последующим определением методов профилактики их возникновения. *Результаты исследования*. При анализе отдаленных результатов не отмечено случаев возникновения ТГ в исследуемой группе пациентов. Этому способствовало внедрение в клиническую практику разработанных способов профилактики возникновения ТГ у пациентов «группы риска», основанных на запатентованной превентивной протезирующей пластике в области троакарных ран. Ведущими факторами, способствующими развитию ТГ у пациентов этой группы являлись дополнительная травматизация троакарных ран и возможное инфицирование тканей передней брюшной стенки. Предложенные способы являются малотравматичными, так как отсутствует необходимость в дополнительной фиксации трансплантата отдельными узловыми швами по его латеральному краю. Они технически просты и надежны, так как предложенные типы фиксации трансплантата препятствует его дислокации в любую сторону. *Заключение*. Разработанные способы профилактики образования ТГ после эндовидеохирургических операций показали свою эффективность и могут быть рекомендованы в качестве завершающего этапа ЛХЭ и других миниинвазивных операций при наличии у пациента факторов риска образования ТГ.

Ключевые слова: профилактика, троакарные грыжи, лапароскопическая холецистэктомия, превентивная протезирующая пластика.

Введение

Широкое внедрение лапароскопических операций в абдоминальной хирургии и минимизация осложнений со стороны троакарных ран не исключает появления послеоперационных троакарных грыж (ТГ), частота которых колеблется в пределах 0,75–7,7 % [1-3]. На данный момент ТГ смело можно считать одним из тяжелых осложнений после лапароскопических оперативных вмешательств [4]. В когорте пациентов с вентральными грыжами количество ТГ увеличилось за последние годы с 5,60 до 15,27 % [2]. Особенно высокая частота ТГ наблюдается после лапароскопической холецистэктомии (ЛХЭ) в месте установления параумбиликального троакара, которая достигает 4,5–6,7 % [3; 5]. Большинство авторов считают, что технические причины наиболее важны среди факторов возникновения ТГ. Поэтому для профилактики возникновения данного вида осложнения, следует прежде всего усовершенствовать технические аспекты выполнения операций [1; 4; 6]. Одним из возможных путей решения этой проблемы является превентивное эндопротезирование троакарных ран у пациентов, так называемой группы риска, в первую очередь у пациентов с избыточной массой тела. Зарубежные авторы с этой целью предлагают специально разработанные сетчатые импланты (СИ) с антиадгезивным покрытием для IPOM профилактики ТГ. Применение данного метода по сравнению с ручным швом позволило авторам снизить количество ТГ с 31,9 до 4,4 % [7]. Недостатком такого способа предотвращения возникновения ТГ является сложность его выполнения и необходимость применения специального СИ. Поэтому разработка и внедрение в клиническую практику профилактических, технологически простых и не требующих применения специальных СИ способов предотвращения возможного образования ТГ после эндовидеохирургических вмешательств является актуальной проблемой современной абдоминальной хирургии.

Цель исследования: провести анализ результатов хирургического лечения острого калькулезного холецистита и методов профилактики возникновения ТГ после ЛХЭ.

Материал и методы исследования

Проведенное исследование основано на ретроспективном анализе медицинских карт 116 пациентов, которым была выполнена ЛХЭ по поводу острого калькулезного холецистита (ОКХ) в течение 2017–2020 годов на базе хирургического отделения №1 ГБУЗ РК СКБ СМП № 6. Проведен анализ послеоперационных и интраоперационных осложнений с последующим определением методов профилактики их возникновения. Критериями включения в исследование были пациенты старше 18 лет, которым была выполнена ЛХЭ по поводу ОКХ; пациенты, давшие письменное согласие на операцию. Критерии исключения: возраст менее 18 лет, больные с противопоказаниями для проведения общего обезболивания.

С целью профилактики ТГ при ЛХЭ были разработаны и апробированы два способа [8; 9]. Эффективность предлагаемых методик после ЛХЭ изучена у 22 пациентов с факторами риска образования ТГ.

Комиссией по этике Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского установлено, что проведенное исследование не противоречат основным биоэтическим нормам (протокол №9 от 01.10.2020 г.).

Полученные данные были систематизированы в Excel, а для оценки результатов использовали параметрические методы (статистический пакет EZR). Данные представлены в процентах.

Результаты и их обсуждение

За исследуемый период всего было исполнено 116 ЛХЭ у больных с ОКХ. Возраст пациентов, включенных в исследование, находился в диапазоне 18–75 лет. Большинство пролеченных больных составляли женщины — 88 (75,86 %). Большинство больных с ОКХ были госпитализированы к 72 часам от начала заболевания — 74 (63,79 %). В структуре сопутствующих заболеваний преобладали проявления метаболического синдрома — сердечно-сосудистые заболевания и алиментарно-конституционное ожирение. У большинства больных была сопутствующая сердечно-сосудистая патология — 60 (51,72 %) случаев, что характеризует преобладание в исследовании пациентов пожилого возраста. Средняя продолжительность ЛХЭ составила 78,57±4,74 минуты. Дренирование подпеченочного пространства выполнялось не во всех случаях, а только у 105 больных (90,52 %). Высокая частота дренирования объясняется тем, что в исследовании преобладали пациенты с деструктивными формами ОКХ — 95 (81,89 %). Отдельно проведен анализ интраоперационных осложнений. Диагностированы осложнения у 10 (8,62 %) больных. Половину из них (5) составили кровотечения из троакарных ран. Еще у 3 пациентов было диагностировано кровотечение из пузырной артерии, а у 2 больных повреждение печени. При анализе отдаленных результатов нами не отмечено случаев возникновения ТГ в исследуемой группе пациентов, что в значительной степени, как мы считаем, обусловлено эффектом от предложенных способов профилактики возникновения ТГ. По нашему мнению, ведущими факторами риска, способствующими развитию ТГ, являются излишняя травматизация и инфицирование троакарных ран.

У 12 пациентов с факторами риска был применен первый способ профилактики образования ТГ после

эндовидеохирургических операций, который реализуют следующим образом после выполнения основного этапа ЛХЭ. С этой целью в области пупочного порта ушивают ранее произведенный разрез белой линии живота в месте установки троакара, используя для этого полипропиленовые нити. Формируются узловые швы на белой линии живота с захватом листков брюшины (рис. 1). При этом швы формируют на расстоянии от 5 до 8 мм друг от друга. В дальнейшем лигатуры этих швов фиксируют на зажимах, а не срезают (рис. 2). После чего в зоне будущей установки СИ остро и тупо отделяют подлежащую подкожно-жировую клетчатку радиально во все стороны от линии швов. Как правило, это расстояние составляет от 15 мм до 20 мм. В отсепарированном пространстве для установки СИ электрокоагуляцией производят тщательный гемостаз.

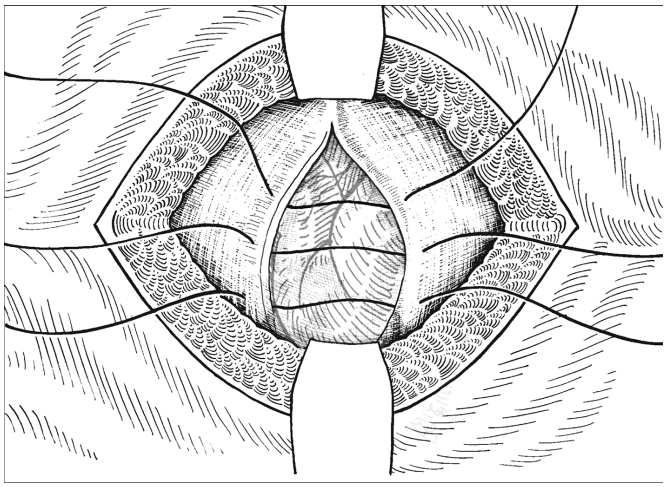


Рис. 1. Формирование узловых швов белой линии живота с захватом листков брюшины

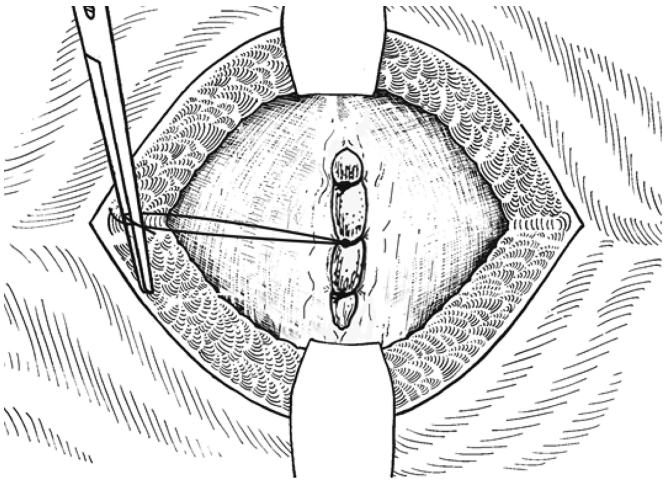


Рис. 2. Фиксация лигатуры на зажиме

Затем производится выкраивание СИ в виде овала, размеры которого в среднем составляют 60 на 30 мм. Подготовленный по форме и размерам СИ устанавливают в отсепарированном пространстве, используя для этого ранее фиксированные на зажиме лигатуры. При этом необходимо производить фиксацию по условной срединной линии СИ, определив ее визуально, предварительно согнув СИ на две равные половины. Как правило, допуск от 2 до 5 мм от условной срединной линии СИ, является приемлемым и не приводит к сморщиванию СИ. После контроля гемостаза ушивают подкожно-жировую клетчатку, используя для этого единичные узловые швы, с последующим формированием интрадермального или узловых кожных швов на усмотрение хирурга.

Ранний послеоперационный период у всех 10 пациентов этой группы протекал гладко, без осложнений. Послеоперационные раны у всех пациентов зажили первичным натяжением. Для мониторинга состояния послеоперационной области проводили регулярные обследования, в частности, ультразвуковую диагностику. Полученные результаты показали отсутствие признаков воспалительных процессов и послеоперационных осложнений. При обследовании в отдаленном периоде от 1 года до 5 лет ни в одном случае не обнаружено образования ТГ.

Еще у 10 пациентов с факторами риска был применен второй способ профилактики возникновения ТГ. В этой методике реализован альтернативный тип фиксации СИ — комбинированный, предусматривающий использование, как лигатур, так и медицинских клеевых композиций. В отличие от первого способа, в данном методе после «центральной» фиксации аналогично первой методике производят дополнительную фиксацию СИ к внешнему листку влагалища прямых мышц по его латеральному краю. Для этого можно использовать любую медицинскую клеевую композицию, включая медицинский клей «Сульфакрилат», используемый нами. С этой целью до проведения основного этапа операции тюбик клея подвергают обязательной стерилизации. В качестве дезинфицирующих растворов, как правило, используют хлоргексидин, спирт или муравьиную кислоту. После необходимого для стерилизации времени «Сульфакрилата» времени, клей передают для последующего использования на операционном столе. С помощью марлевой салфетки предварительно перед нанесением клея на поверхность СИ и раневую поверхность их осушают. Затем непосредственно из ампулы-тюбика клей наносят на СИ и раневую поверхность. Данную манипуляцию оперирующий хирург производит после прокола ампулы-тюбика в ее проксимальной части, используя для этого иглу. После этого, надавливая равномерно пальцами на корпус ампулы, производят выдавливание клеевой композиции из тюбика, соблюдая принцип его равномерного растекания по поверхности СИ в зоне фиксации (рис. 3). После контроля гемостаза ушивают подкожно-жировую клетчатку, используя для этого единичные узловые швы, с последующим формированием интрадермального или узловых кожных швов на усмотрение хирурга.

Результаты данной методики были удовлетворительными, отслеживались через 10–11 месяцев при физикальном обследовании локального статуса и ультразвуковой диагностике послеоперационной области. При обследовании пациентов в отдаленном периоде от 1 года до 3 лет ни в одном случае не было выявлено признаков формирования ТГ в параумбиликальной области.

Профилактика ТГ является важным аспектом современной хирургической практики, поскольку это осложнение может оказывать значительное влияние на качество жизни пациентов. ТГ не только приводят к дискомфорту и боли, но и могут осложняться ущемлением внутренних органов, что требует срочного хирургического вмешательства. Эффективная профилактика позволяет снизить риск их возникновения путем использования современных методик закрытия раны [1, 3].

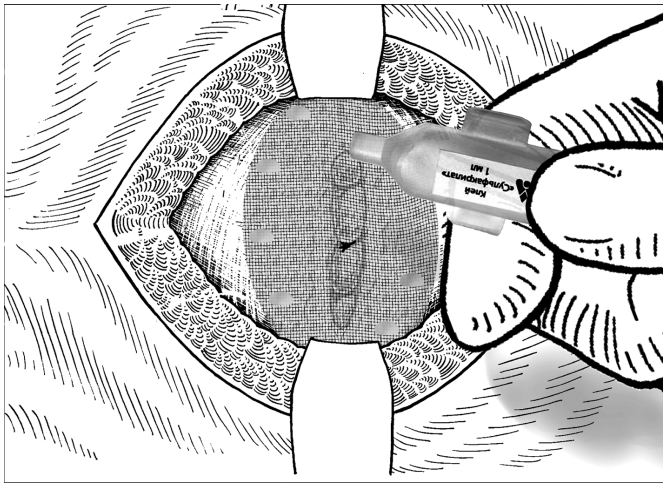


Рис. 3. Нанесение клеевой композиции на раневую поверхность и СИ

Полученные клинические данные подтверждают практическую эффективность предлагаемых методов профилактики возникновения ТГ после ЛХЭ. Реализованный в первой методике способ превентивной пластики, отличается малой травматичностью, что обусловлено отсутствием необходимости в дополнительной фиксации СИ по его латеральному краю, используя для этого отдельные узловые швы. Методика технически проста и надежна, за счет предлагаемого типа фиксации СИ, препятствующего его дислокацию в любую из сторон.

В то же время иногда одной лишь «центральной» фиксации СИ бывает недостаточно. В таких случаях эффективен второй способ профилактики возникновения ТГ. Предложенные методики перспективны в современной хирургической практике, особенно для пациентов с высоким риском осложнений. В первую очередь, риски развития ТГ значительно повышаются у пациентов с такими факторами, как ожирение, сопутствующие заболевания и при использовании крупных троакаров.

Несмотря на проведенные исследования и их результаты, единой техники профилактики возникновения ТГ после ЛХЭ в настоящее время не существует. Это объясняется тем, что до сих пор не проведены масштабные рандомизированные исследования, результаты которых могли бы быть введены в рекомендации международных сообществ. Поэтому использование тех или иных способов профилактики возникновения ТГ после ЛХЭ и других эндовидеохирургических оперативных вмешательств должно быть основано на рациональном применении опыта хирурга и международных хирургических сообществ в целом [10, 11].

Внедрение предлагаемых способов профилактики ТГ в клиническую практику может значительно улучшить результаты лапароскопических операций, снизить частоту возникновения ТГ и повысить качество жизни пациентов. Индивидуализированный подход к планированию операций по профилактике ТГ будет способствовать снижению нагрузки на систему здравоохранения за счет уменьшения необходимости в повторных хирургических вмешательствах.

Выводы

Применение представленных авторских подходов позволяет снизить риск развития ТГ после ЛХЭ. Предложенные методики перспективны в современной хирургической практике, особенно для пациентов с высоким риском осложнений. Их использование в клинической практике открывает новые возможности для профилактики ТГ, обеспечивая хирургам эффективный инструмент для улучшения результатов лечения. Разработанные способы профилактики ТГ являются весомым вкладом в усовершенствование современной хирургии и повышения безопасности пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Халястов И.Н., Николаев Д.В., Нагаев Р.М., Кирбичева А.А., Петухова С.Ю. Профилактика троакарных послеоперационных ослонений. Госпитальная медицина: наука и практика. 2019;1(4):52–55.
2. Горский В.А., Эттингер А.П., Армашов В.П., Азимов Р.Х., Глушков П.С., Шемятовский К.А. Троакарные грыжи — более распространенная проблема, чем мы привыкли думать. Доказательная гастроэнтерология. 2022;11(1):13–19. doi: 10.17116/dokgastro20221101113
3. Фелештинський Я.П., Дадаян В.А. Обґрунтування профілактики троакарних гриж після лапароскопічної холецистектомії. Хірургія України. 2018;2:44–47. doi:10.3978/SU2018244

4. Дзюбановський І.Я., Варварук М.-І.Р. Поняття про троакарну грижу як ускладнення після лапароскопічних операційних втручань: причини та частота виникнення, класифікація, методи лікування і профілактики. Шпитальна хірургія. Журнал імені Л. Я. Ковальчука. 2022;2:79–82. doi:10.11603/2414-4533.2022.2.13178.
5. Баженов А.А., Капустин Б.Б. Факторы риска формирования троакарных грыж после лапароскопической холецистэктомии. Современные проблемы науки и образования. 2023;2. doi:10.17513/spno.32466.
6. Праздников Э.Н., Баранов Г.А., Бахметов Т.Р. Пути профилактики троакарных грыж после лапароскопической холецистэктомии. 6-летний опыт клиники. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2021;1:51–54. doi: 10.26269/8a7m-qz41.
7. Armañanzas L., Ruiz-Tovar J., Arroyo A., García-Peche P., Armañanzas E., Diez M., Galindo I., Calpena R. Prophylactic mesh vs suture in the closure of the umbilical trocar site after laparoscopic cholecystectomy in high-risk patients for incisional hernia. A randomized clinical trial. J Am Coll Surg. 2014;218(5):960–8. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2014.01.049.
8. Патент РФ на изобретение № 2817997. Опубл. 23.04.24, Бюл. №12. Гривенко С.Г., Фоломеева Л.И., Ильченко Ф.Н., Семенов Ю.А., Усманова Т.Э. Способ профилактики возникновения троакарных грыж после эндовидеохирургических вмешательств. URL: https://patenton.ru/patent/RU2817997C1 (Дата обращения: 03.01.2025).
9. Патент UA на полезную модель № 112967. Опубл. 10.01.17, Бюл. №1. Деркач М.М., Гривенко С.Г. Спосіб профілактики виникнення гриж після ендовідеохірургічних операцій. URL: https://base.uipv.org/searchbulletin/search.php?action=viewdetails& dbname=invdu&IdClaim=231204 (Дата обращения: 03.01.2025).
10. Sood S., Imsirovic A., Sains P., Singh K.K., Sajid M.S. Epigastric port retrieval of the gallbladder following laparoscopic cholecystectomy is associated with the reduced risk of port site infection and port site incisional hernia: An updated meta-analysis of randomized controlled trials. Ann Med Surg (Lond). 2020:55:244–251. doi: 10.1016/j.amsu.2020.05.017.
11. Conrad C., Wakabayashi G., Asbun H.J., Dallemagne B., Demartines N., Diana M., Fuks D., Giménez M.E., Goumard C., Kaneko H., Memeo R., Resende A., Scatton Ol., Schneck A-S., Soubrane O., Tanabe M., van den Bos J., Weiss H., Yamamoto M., Marescaux J., Pessaux P. IRCAD recommendation on safe laparoscopic cholecystectomy. J Hepatobiliary Pancreat Sci. 2017;24(11):603–615. doi: 10.1002/jhbp.491.

© Гривенко Сергей Геннадиевич (hryva@mail.ru); Голомидов Александр Николаевич (alex.golomidov@mail.ru);
Калиниченко Алексей Павлович (zleonov40@yandex.ru); Усманова Тамила Эскандеровна (tamila.asp.doc@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.29

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ДИАГНОСТИКЕ И ХИРУРГИЧЕСКОМУ ЛЕЧЕНИЮ ОСТРЫХ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНОВ БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ

MODERN APPROACHES TO THE DIAGNOSTICS AND SURGICAL TREATMENT OF ACUTE ABDOMINAL INFLAMMATORY DISEASES

A. Kivva
A. Chubovskiy
I. Evlakhova
I. Zagreba

Summary. Acute abdominal inflammatory diseases (AAID) remain among the most pressing issues in modern abdominal surgery, requiring prompt diagnostics and surgical intervention. Despite significant advancements in diagnostic methods and surgical technologies, mortality rates for this pathology remain relatively high. This study presents a comprehensive analysis of modern diagnostic and therapeutic approaches for managing AAID patients, based on data collected at a Rostov-on-Don Municipal Emergency Aid Hospital spanning 2018–2023. A total of 876 patients with acute inflammatory diseases of the abdominal cavity were examined, primarily including acute appendicitis (42.3 %), acute cholecystitis (28.7 %), acute pancreatitis (15.2 %), and other conditions (13.8 %). The effectiveness of various diagnostic algorithms comprising laboratory tests, instrumental methods, and imaging techniques, was analysed. The outcomes of laparoscopic and traditional surgical interventions, as well as perioperative antibacterial therapy, were evaluated. The findings revealed that the implementation of a comprehensive diagnostic algorithm reduced the time required to establish a final diagnosis by 38.4 % and lowered the rate of diagnostic errors from 7.8 % to 2.3 %. Minimally invasive techniques reduced postoperative complications by 24.6 % and shortened in-hospital stays by 3.7±0.8 days. An original prognostic scoring system was developed and implemented, demonstrating 89.4 % sensitivity and 92.1 % specificity in stratifying complication risks. The results highlight the necessity of a personalized approach to the selection of diagnostic strategies and surgical tactics for AAID, tailored to clinical and instrumental factors as well as the patient's comorbid background.

Keywords: Acute abdominal inflammatory diseases, surgical treatment, diagnostic algorithm, laparoscopy, antibacterial therapy, prognostic score, personalized approach.

Киква Андрей Николаевич
Доктор медицинских наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет Минздрава России»
kivva@aaanet.ru
Чубовский Андрей Иванович
Кандидат медицинских наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет Минздрава России»
chubovskiy14@mail.ru
Евлахова Инесса Сергеевна
Кандидат медицинских наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет Минздрава России»
inessa.ev@yandex.ru
Загреба Игорь Владимирович
Доктор медицинских наук, доцент,
ГБУ РО «Городская больница скорой медицинской помощи», г. Ростов-на-Дону;
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет Минздрава России»
Lesi.787878@mail.ru

Аннотация. Острые воспалительные заболевания органов брюшной полости (ОВЗОБП) остаются одной из наиболее актуальных проблем современной абдоминальной хирургии, требующих своевременной диагностики и оперативного вмешательства. Несмотря на значительные успехи в развитии диагностических методик и хирургических технологий, летальность при данной патологии остается достаточно высокой. В настоящей работе проведен комплексный анализ современных диагностических и лечебных подходов к ведению пациентов с ОВЗОБП на основе данных, полученных в хирургическом стационаре ГБУ РО «Городская больница скорой медицинской помощи» в Ростове-на-Дону за период 2018–2023 гг. Обследовано 876 пациентов с острыми воспалительными заболеваниями органов брюшной полости, преимущественно с острым аппендицитом (42,3 %), острым холециститом (28,7 %), острым панкреатитом (15,2%) и другими нозологиями (13,8 %). Проанализирована эффективность различных диагностических алгоритмов, включающих лабораторные, инструментальные и визуализирующие методики. Оценены результаты применения лапароскопических и традиционных хирургических вмешательств, а также периоперационной антибактериальной терапии. Выявлено, что внедрение комплексного диагностического алгоритма позволило сократить время установления окончательного диагноза на 38,4 %, а частота диагностических ошибок снизилась с 7,8 % до 2,3 %. Применение малоинвазивных технологий привело к снижению послеоперационных осложнений на 24,6 % и сокращению сроков госпитализации на 3,7±0,8 дня. Разработана и внедрена оригинальная шкала прогностической оценки течения заболевания, позволяющая стратифицировать риск развития осложнений с чувствительностью 89,4 % и специфичностью 92,1 %. Полученные результаты свидетельствуют о необходи-



мости персонализированного подхода к выбору диагностической стратегии и хирургической тактики при ОВЗОБП с учетом клинико-инструментальных показателей и коморбидного фона пациента.

Ключевые слова: острые воспалительные заболевания брюшной полости, хирургическое лечение, диагностический алгоритм, лапароскопия, антибактериальная терапия, прогностическая шкала, персонализированный подход.

Введение

Острые воспалительные заболевания органов брюшной полости (ОВЗОБП) остаются одной из ведущих причин экстренной госпитализации в хирургические стационары и представляют значимую медико-социальную проблему современного здравоохранения. Несмотря на стремительное развитие диагностических технологий и хирургических методик, частота осложнений и летальность при данной патологии сохраняются на достаточно высоком уровне. Так, согласно эпидемиологическим данным, частота ОВЗОБП в структуре ургентной хирургической патологии составляет от 47 до 65 %, при этом послеоперационные осложнения развиваются у 15–35 % пациентов, а летальность варьирует от 0,2 до 12 % в зависимости от нозологической формы и возрастной группы [1]. Современные тенденции в абдоминальной хирургии демонстрируют парадигмальный сдвиг в сторону малоинвазивных технологий и мультимодальных диагностических протоколов, однако унифицированные подходы к диагностике и лечению ОВЗОБП до сих пор не сформированы. Клинические рекомендации различных профессиональных сообществ зачастую содержат противоречивые положения, что создает определенные трудности при выборе оптимальной тактики ведения пациентов [2]. В связи с этим анализ существующих диагностических и лечебных стратегий при ОВЗОБП представляется актуальной научно-практической задачей.

Критический анализ литературы показывает, что подходы к диагностике ОВЗОБП претерпели существенную трансформацию за последнее десятилетие. Традиционная клинико-лабораторная диагностика дополнилась широким спектром визуализирующих технологий, что привело к формированию концепции мультимодального диагностического процесса. Современные алгоритмы предусматривают последовательное или параллельное применение ультразвукового исследования (УЗИ), компьютерной томографии (КТ), магнитно-резонансной томографии (МРТ) и эндоскопических методик. При этом чувствительность и специфичность различных диагностических комбинаций существенно варьирует в зависимости от нозологической формы и клинической ситуации [3]. Например, при подозрении на острый аппендицит чувствительность УЗИ составляет 76–92 %, КТ — 90–97 %, а диагностической лапароскопии — 92–98 % [4]. В то же время, при остром панкреатите информативность УЗИ снижается до 62–78 % из-за метеоризма и парезов кишечника, а КТ с контрастированием демонстрирует чувствительность 90–95 % [5]. Эти различия обуславливают необходимость дифференцированного подхода к выбору диагностического алгоритма с учетом клинической картины, доступности инструментальных методов и экономической целесообразности.

Методы

Настоящее исследование проведено на базе ГБУ РО «Городской больницы скорой медицинской помощи» г. Ростова-на-Дону в период с января 2018 по декабрь 2023 гг. Выбор методологии исследования обусловлен необходимостью комплексной оценки диагностических и лечебных стратегий при ОВЗОБП, что требует применения как количественных, так и качественных методов анализа. Исследование проводилось в соответствии с принципами доказательной медицины и Хельсинкской декларации, после одобрения этическим комитетом учреждения (протокол №127 от 12.12.2017). Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. Для решения поставленных задач было проведено проспективное когортное исследование с элементами ретроспективного анализа. В исследование включены 876 пациентов с верифицированными ОВЗОБП, госпитализированных в экстренном порядке. Критериями включения являлись: возраст 18 лет и старше, наличие клинических и инструментальных признаков острого воспалительного заболевания органов брюшной полости, подтвержденного интраоперационно или с помощью комплекса диагностических методов. Критерии исключения: беременность, онкологические заболевания в анамнезе, иммуносупрессивные состояния, психические заболевания, препятствующие адекватной коммуникации, отказ от участия в исследовании.

В зависимости от нозологической формы пациенты были распределены следующим образом: острый аппендицит — 371 (42,3 %), острый холецистит — 251 (28,7 %), острый панкреатит — 133 (15,2 %), перфоративная язва — 64 (7,3 %), ущемленная грыжа с некрозом — 34 (3,9 %), острая кишечная непроходимость — 23 (2,6 %). Средний возраст пациентов составил 47,6±18,3 лет, соотношение мужчин и женщин — 1:1,2. По степени тяжести состояния при поступлении согласно шкале

APACHE II пациенты распределились следующим образом: легкая степень (≤10 баллов) — 583 (66,5 %), средняя степень (11–20 баллов) — 246 (28,1 %), тяжелая степень (>20 баллов) — 47 (5,4 %). Диагностический алгоритм включал стандартное клиническое обследование, лабораторные тесты (общий анализ крови, биохимический анализ крови, коагулограмма, С-реактивный белок, прокальцитонин при подозрении на септические осложнения) и инструментальные методы исследования. Последние включали ультразвуковое исследование органов брюшной полости и забрюшинного пространства (аппарат Logiq E9, GE Healthcare, США), компьютерную томографию (Somatom Definition AS 64, Siemens, Германия) с внутривенным контрастированием по показаниям, магнитно-резонансную томографию (Magnetom Aera 1.5T, Siemens, Германия) в случаях диагностической неопределенности. Диагностическая лапароскопия проводилась при невозможности верификации диагноза неинвазивными методами или при расхождении клинических и инструментальных данных.

Хирургическое лечение осуществлялось с использованием как традиционных открытых, так и лапароскопических методик. Выбор хирургического доступа определялся характером патологии, состоянием пациента, техническими возможностями и опытом хирургической бригады. Все оперативные вмешательства выполнялись под эндотрахеальным наркозом или регионарной анестезией. Антибактериальная терапия назначалась эмпирически с последующей коррекцией по результатам микробиологических исследований.

Для оценки эффективности различных диагностических и лечебных подходов анализировались следующие показатели: время от момента поступления до постановки окончательного диагноза, частота диагностических ошибок, продолжительность оперативного вмешательства, объем интраоперационной кровопотери, частота и характер послеоперационных осложнений, длительность послеоперационного пребывания в стационаре, частота повторных госпитализаций в течение 30 дней, летальность. Для стратификации риска развития осложнений разработана оригинальная прогностическая шкала, включающая клинические, лабораторные и инструментальные параметры.

Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения SPSS 25.0 (IBM, США). Нормальность распределения количественных переменных проверялась с помощью теста Шапиро-Уилка. При нормальном распределении данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения (M±SD), при ненормальном — в виде медианы и межквартильного размаха (Me [25 %; 75 %]). Для сравнения количественных переменных использовался t-критерий Стьюдента или U-критерий Манна-Уитни, для категориальных переменных — критерий χ^2. Для оценки корреляций применялся коэффициент Пирсона или Спирмена в зависимости от типа распределения. Многофакторный анализ проводился с использованием логистической регрессии. Уровень статистической значимости принят равным $p < 0,05$. Для оценки диагностической значимости разработанных алгоритмов и шкал рассчитывались чувствительность, специфичность, положительная и отрицательная прогностическая ценность.

Результаты исследования

Анализ клинико-демографических характеристик обследованной когорты пациентов с острыми воспалительными заболеваниями органов брюшной полости выявил существенную вариабельность по возрастному составу, коморбидному фону и тяжести состояния при поступлении. В Таблице 1 представлены основные демографические характеристики пациентов и распределение по нозологическим формам.

Анализ данных, представленных в Таблице 1, демонстрирует преобладание в структуре ОВЗОБП острого

Таблица 1.

Распределение пациентов по нозологическим формам и демографическим характеристикам

Нозологическая форма	Количество пациентов, n (%)	Средний возраст, лет (M±SD)	Соотношение мужчин/женщин	Индекс коморбидности Чарлсона (Me [25%; 75%])	Летальность, n (%)
Острый аппендицит	371 (42,3 %)	34,7±15,3	1:1,1	0 [0; 1]	1 (0,3 %)
Острый холецистит	251 (28,7 %)	59,3±16,8	1:2,3	2 [1; 4]	4 (1,6 %)
Острый панкреатит	133 (15,2 %)	52,1±17,6	2,1:1	2 [1; 3]	7 (5,3 %)
Перфоративная язва	64 (7,3 %)	56,4±18,2	4,3:1	3 [1; 4]	5 (7,8 %)
Ущемленная грыжа с некрозом	34 (3,9 %)	67,2±15,9	1:1,4	4 [2; 5]	2 (5,9 %)
Острая кишечная непроходимость	23 (2,6 %)	62,3±17,1	1:1,2	3 [2; 5]	2 (8,7 %)
Всего	876 (100 %)	47,6±18,3	1:1,2	2 [0; 3]	21 (2,4 %)

аппендицита (42,3 %) и острого холецистита (28,7 %), что соответствует общепопуляционным данным. Обращает на себя внимание существенная вариабельность демографических показателей в зависимости от нозологической формы. Так, пациенты с острым аппендицитом характеризовались наиболее молодым возрастом (34,7±15,3 лет) и минимальным индексом коморбидности Чарлсона (0 [0; 1]), в то время как пациенты с ущемленной грыжей с некрозом были значительно старше (67,2±15,9 лет) и имели более выраженную коморбидную патологию (4 [2; 5]). Гендерное распределение также варьировало в зависимости от нозологии: при остром холецистите преобладали женщины (соотношение М: Ж = 1:2,3), а при перфоративной язве — мужчины (М: Ж = 4,3:1). Летальность при ОВЗОБП составила 2,4% в общей когорте, при этом наиболее высокие показатели наблюдались при острой кишечной непроходимости (8,7 %) и перфоративной язве (7,8 %), что объясняется тяжестью данных патологий и более выраженным коморбидным фоном у этих категорий пациентов. Эффективность различных диагностических методов варьировала в зависимости от нозологической формы ОВЗОБП, что свидетельствует о необходимости дифференцированного подхода к выбору диагностического алгоритма. В Таблице 2 представлены показатели диагностической точности различных методов исследования.

Как следует из Таблицы 2, ультразвуковое исследование демонстрировало наиболее высокую диагностическую эффективность при остром холецистите (чувствительность 94,2 %, специфичность 89,7 %), в то время как при остром панкреатите его информативность была существенно ниже (чувствительность 73,5 %, специфичность 81,2 %). Компьютерная томография обладала высокой диагностической точностью при всех нозологических формах, особенно при перфоративной язве (чувствительность 98,2 %, специфичность 96,7 %). Магнитно-резонансная томография показала высокую информативность при остром панкреатите (чувствительность 96,5 %, специфичность 93,8 %), превосходя по эффективности как УЗИ, так и КТ. Диагностическая лапароскопия характеризовалась максимальной диагностической точностью (98,8 %) и использовалась в случаях диагностической неопределенности.

На основании полученных данных был разработан дифференцированный диагностический алгоритм, учитывающий как клинические характеристики пациента, так и диагностические возможности различных методов исследования. Внедрение данного алгоритма позволило сократить время установления окончательного диагноза с 6,8±3,2 часов до 4,2±1,9 часов (p <0,001) и снизить частоту диагностических ошибок с 7,8 % до 2,3 % (p < 0,001). Анализ результатов хирургического лечения показал преимущества лапароскопических методик по сравнению с традиционными открытыми вмешательствами по большинству исследуемых параметров. В Таблице 3 представлены основные показатели эффективности различных хирургических подходов при ОВЗОБП.

Анализ данных, представленных в Таблице 3, демонстрирует статистически значимые преимущества лапароскопических вмешательств по сравнению с открытыми операциями по большинству исследуемых параметров. Продолжительность лапароскопических операций была меньше (65,7±28,3 мин vs 78,4±35,2 мин, p=0,032), при этом интраоперационная кровопотеря была значительно ниже (45 [20; 95] мл vs 110 [60; 280] мл, p<0,001). После лапароскопических вмешательств отмечалась более ранняя активизация пациентов, сокращение сроков послеоперационного обезболивания (2,3±1,1 дней vs 4,8±2,1 дней, p <0,001) и более раннее восстановление энтерального питания (18,5±8,7 часов vs 36,3±14,6 часов, p <0,001). Особенно значимыми были

Таблица 2.

Диагностическая эффективность различных методов исследования при острых воспалительных заболеваниях органов брюшной полости

Метод исследования	Чувствительность, %	Специфичность, %	Положительная прогностическая ценность, %	Отрицательная прогностическая ценность, %	Диагностическая точность, %
УЗИ при остром аппендиците	87,6	83,2	91,4	77,8	86,3
УЗИ при остром холецистите	94,2	89,7	93,5	90,8	92,6
УЗИ при остром панкреатите	73,5	81,2	78,6	76,7	77,5
КТ при остром аппендиците	96,3	94,8	97,2	93,5	95,8
КТ при остром панкреатите	93,7	91,5	90,8	94,2	92,6
КТ при перфоративной язве	98,2	96,7	95,4	98,9	97,5
МРТ при остром панкреатите	96,5	93,8	92,7	97,1	95,3
Диагностическая лапароскопия	99,2	98,3	98,7	99,0	98,8

Таблица 3.

Сравнительная характеристика результатов лапароскопических и открытых вмешательств при острых воспалительных заболеваниях органов брюшной полости

Показатель	Лапароскопические вмешательства (n=624)	Открытые вмешательства (n=252)	p-значение
Продолжительность операции, мин (M±SD)	65,7±28,3	78,4±35,2	0,032
Интраоперационная кровопотеря, мл (Me [25%; 75%])	45 [20; 95]	110 [60; 280]	<0,001
Частота конверсий, n (%)	28 (4,5 %)	–	–
Длительность послеоперационного обезболивания, дни (M±SD)	2,3±1,1	4,8±2,1	<0,001
Время до начала энтерального питания, часы (M±SD)	18,5±8,7	36,3±14,6	<0,001
Послеоперационные осложнения, n (%)	52 (8,3 %)	62 (24,6 %)	<0,001
Инфекционные осложнения области хирургического вмешательства, n (%)	27 (4,3 %)	43 (17,1 %)	<0,001
Послеоперационный койко-день (M±SD)	5,2±2,4	8,9±3,1	<0,001
Повторные госпитализации в течение 30 дней, n (%)	14 (2,2 %)	18 (7,1 %)	0,002
Послеоперационная летальность, n (%)	9 (1,4 %)	12 (4,8 %)	0,004

различия в частоте послеоперационных осложнений (8,3 % vs 24,6 %, p <0,001) и инфекционных осложнений области хирургического вмешательства (4,3 % vs 17,1 %, p <0,001). Это привело к сокращению послеоперационного койко-дня (5,2±2,4 дней vs 8,9±3,1 дней, p <0,001), снижению частоты повторных госпитализаций (2,2 % vs 7,1 %, p=0,002) и послеоперационной летальности (1,4 % vs 4,8 %, p=0,004).

Следует отметить, что в 28 (4,5 %) случаях потребовалась конверсия лапароскопического доступа в открытый. Основными причинами конверсии являлись выраженный спаечный процесс (n=12), распространенный перитонит с множественными межпетлевыми абсцессами (n=8), технические сложности, связанные с атипичной анатомией (n=5), и неконтролируемое кровотечение (n=3). Для объективизации выбора оптимального хирургического доступа была разработана балльная шкала, учитывающая клинические, лабораторные и инструментальные данные. На основании суммы баллов пациенты стратифицировались на группы низкого, среднего и высокого риска осложнений при использовании лапароскопического доступа. В Таблице 4 представлены основные компоненты данной шкалы и их весовые коэффициенты.

Таблица 4.

Прогностическая шкала оценки риска осложнений и выбора оптимального хирургического доступа при острых воспалительных заболеваниях органов брюшной полости

Параметр	Градации	Баллы
Возраст, лет	<40	0
	40–60	1
	61–75	2
	>75	3
Индекс массы тела, кг/м^2	<30	0
	30–35	1
	36–40	2
	>40	3
Индекс коморбидности Чарлсона	0–1	0
	2–3	1
	4–5	2
	>5	3
APACHE II при поступлении, баллы	<10	0
	10–15	1
	16–20	2
	>20	3
Уровень С-реактивного белка, мг/л	<50	0
	50–100	1
	101–200	2
	>200	3
Уровень прокальцитонина, нг/мл	<0,5	0
	0,5–2,0	1
	2,1–10,0	2
	>10,0	3

Параметр	Градации	Баллы
Лейкоцитоз, $\times 10^9$/л	<12	0
	12–15	1
	16–20	2
	>20	3
Наличие свободной жидкости в брюшной полости по данным УЗИ/КТ	Нет	0
	Минимальное количество	1
	Умеренное количество	2
	Значительное количество	3
Время от начала заболевания, часы	<12	0
	12–24	1
	25–48	2
	>48	3
Предшествующие операции на органах брюшной полости	Нет	0
	1 операция	1
	2 операции	2
	≥3 операции	3

Интерпретация результатов: 0–7 баллов — низкий риск (предпочтителен лапароскопический доступ), 8–15 баллов — средний риск (лапароскопический доступ возможен, но с высокой вероятностью конверсии), 16–30 баллов — высокий риск (предпочтителен открытый доступ).

Валидация разработанной шкалы на независимой выборке из 243 пациентов показала ее высокую прогностическую ценность. Чувствительность шкалы в отношении прогнозирования осложнений при лапароскопическом доступе составила 89,4 %, специфичность — 92,1 %, положительная прогностическая ценность — 86,8 %, отрицательная прогностическая ценность — 93,7 %. Применение данной шкалы позволило снизить частоту конверсий с 7,2 % до 2,8 % (p=0,012) и уменьшить количество послеоперационных осложнений на 16,7 % (p=0,003).

Особое внимание в исследовании было уделено анализу эффективности различных схем периоперационной антибактериальной терапии при ОВЗОБП. Результаты применения различных антибактериальных режимов представлены в Таблице 5.

Анализ данных, представленных в Таблице 5, демонстрирует различную эффективность антибактериальных режимов при ОВЗОБП. Монотерапия цефалоспоринами III поколения характеризовалась наибольшей частотой инфекционных осложнений (19,8 %), длительной лихорадкой (3,6±1,8 дней) и продолжительной нормализацией лейкоцитоза (4,2±1,7 дней). Комбинация цефалоспоринов III поколения с метронидазолом существенно улучшала результаты лечения, снижая частоту инфекционных осложнений до 12,3 % и сокращая сроки нормализации клинико-лабораторных показателей. Сопоставимую эффективность демонстрировали ингибиторозащищенные пенициллины и комбинация фторхинолонов с метронидазолом. Карбапенемы характеризовались наименьшей частотой инфекционных осложнений (9,2 %) и наиболее быстрой нормализацией клинико-лабораторных показателей, однако были ассоциированы с наиболее продолжительными курсами антибиотикотерапии (7,2±2,4 дня).

Многофакторный анализ идентифицировал ряд независимых предикторов развития инфекционных осложнений при ОВЗОБП: возраст старше 65 лет (ОШ 2,47; 95 % ДИ 1,83-3,32; p<0,001), индекс коморбидности Чарлсона

Таблица 5.

Эффективность различных режимов антибактериальной терапии при острых воспалительных заболеваниях органов брюшной полости

Режим антибактериальной терапии	Количество пациентов, n	Частота инфекционных осложнений, n (%)	Длительность лихорадки, дни (M±SD)	Срок нормализации лейкоцитоза, дни (M±SD)	Длительность антибиотикотерапии, дни (M±SD)
Цефалоспорины III поколения монотерапия	187	37 (19,8 %)	3,6±1,8	4,2±1,7	6,5±2,1
Цефалоспорины III поколения + метронидазол	342	42 (12,3 %)	2,9±1,4	3,3±1,5	5,8±1,9
Ингибиторозащищенные пенициллины	213	25 (11,7 %)	2,7±1,3	3,1±1,4	5,5±1,8
Карбапенемы	65	6 (9,2 %)	2,3±1,1	2,6±1,2	7,2±2,4
Фторхинолоны + метронидазол	69	8 (11,6 %)	2,8±1,4	3,2±1,5	5,9±2,0

более 4 баллов (ОШ 3,12; 95 % ДИ 2,36-4,11; p<0,001), длительность заболевания более 48 часов до госпитализации (ОШ 2,86; 95 % ДИ 2,14–3,82; p<0,001), уровень С-реактивного белка выше 150 мг/л (ОШ 2,38; 95 % ДИ 1,76–3,21; p<0,001), наличие распространенного перитонита (ОШ 4,56; 95 % ДИ 3,42–6,08; p<0,001) и неадекватный выбор стартовой антибактериальной терапии (ОШ 3,74; 95 % ДИ 2,81–4,98; p<0,001).

На основании полученных данных были разработаны дифференцированные схемы периоперационной антибактериальной терапии в зависимости от нозологической формы ОВЗОБП, тяжести состояния пациента и локальных данных по антибиотикорезистентности. Внедрение этих схем позволило снизить частоту инфекционных осложнений с 15,3 % до 8,7 % (p=0,002), сократить сроки госпитализации на 2,3±0,6 дня (p <0,001) и уменьшить затраты на антибактериальную терапию на 24,5 % (p <0,001). Отдельный анализ был проведен для оценки результатов лечения пациентов пожилого и старческого возраста (старше 65 лет, n=217), которые характеризовались более высокой частотой коморбидной патологии, атипичной клинической картиной и повышенным операционно-анестезиологическим риском. В данной группе частота послеоперационных осложнений составила 28,6 % при открытых вмешательствах и 15,4 % при лапароскопических операциях (p=0,009). Послеоперационная летальность была значительно выше по сравнению с общей когортой и составила 6,5 % (14/217), при этом ведущими причинами летальных исходов были полиорганная недостаточность (n=7), тромбоэмболические осложнения (n=4) и острая сердечно-сосудистая недостаточность (n=3). Применение разработанных диагностических и лечебных алгоритмов, индивидуализированных с учетом возрастных особенностей и коморбидного фона, позволило снизить послеоперационную летальность в группе пожилых пациентов с 9,8 % до 4,3 % (p=0,032) и сократить частоту тяжелых послеоперационных осложнений с 34,1 % до 19,6 % (p=0,004).

Заключение

Проведенное исследование предоставило комплексную оценку современных подходов к диагностике и хирургическому лечению острых воспалительных заболеваний органов брюшной полости на основе анализа данных 876 пациентов, госпитализированных в период 2018–2023 гг. Острые воспалительные заболевания органов брюшной полости в структуре ургентной хирургической патологии превалировали и составили: острый аппендицит (42,3 %), острый холецистит (28,7 %), острый панкреатит (15,2 %), перфоративная язва (7,3 %), ущемленная грыжа с некрозом (3,9 %) и острая кишечная непроходимость (2,6 %). Разработанный и внедренный дифференцированный диагностический алгоритм, учитывающий специфику различных нозологических форм, позволил сократить время установления окончательного диагноза с 6,8±3,2 часов до 4,2±1,9 часов (p <0,001) и снизить частоту диагностических ошибок с 7,8 % до 2,3 % (p <0,001). Предложенная комплексная оценка диагностической эффективности различных методов исследования при ОВЗОБП выявила существенные различия в зависимости от нозологической формы: при остром холецистите УЗИ демонстрировало чувствительность 94,2 % и специфичность 89,7 %, в то время как при остром панкреатите эти показатели составляли 73,5 % и 81,2 % соответственно, что обусловливает необходимость дифференцированного подхода к выбору методов визуализации.

Сравнительный анализ результатов лапароскопических и открытых вмешательств при ОВЗОБП продемонстрировал статистически значимые преимущества малоинвазивных технологий по всем ключевым параметрам. Лапароскопические операции характеризовались меньшей продолжительностью (65,7±28,3 мин vs 78,4±35,2 мин, p=0,032), сниженной интраоперационной кровопотерей (45 [20; 95] мл vs 110 [60; 280] мл, p<0,001), сокращением сроков послеоперационного обезболивания (2,3±1,1 дней vs 4,8±2,1 дней, p<0,001) и более ранним восстановлением энтерального питания (18,5±8,7 часов vs 36,3±14,6 часов, p<0,001). Существенно ниже была частота послеоперационных осложнений (8,3 % vs 24,6 %, p <0,001), инфекционных осложнений области хирургического вмешательства (4,3 % vs 17,1 %, p<0,001) и послеоперационная летальность (1,4 % vs 4,8 %, p=0,004). Разработанная прогностическая шкала для стратификации риска осложнений и выбора оптимального хирургического доступа при ОВЗОБП продемонстрировала высокую прогностическую ценность с чувствительностью 89,4 % и специфичностью 92,1 %, что позволило оптимизировать хирургическую тактику и снизить частоту конверсий с 7,2 % до 2,8 % (p=0,012). Анализ эффективности различных режимов антибактериальной терапии выявил существенные различия: монотерапия цефалоспоринами III поколения ассоциировалась с наиболее высокой частотой инфекционных осложнений (19,8 %), в то время как карбапенемы демонстрировали минимальные показатели (9,2 %). Идентифицированы независимые предикторы развития инфекционных осложнений: возраст старше 65 лет (ОШ 2,47), индекс коморбидности Чарлсона более 4 баллов (ОШ 3,12), длительность заболевания более 48 часов до госпитализации (ОШ 2,86), уровень С-реактивного белка выше 150 мг/л (ОШ 2,38), наличие распространенного перитонита (ОШ 4,56) и неадекватный выбор стартовой антибактериальной терапии (ОШ 3,74). Внедрение дифференцированных схем периоперационной антибактериальной терапии позволило снизить частоту инфекционных осложнений с 15,3 % до 8,7 % (p=0,002), сократить сроки госпитализации на 2,3±0,6

дня (p <0,001) и уменьшить затраты на антибактериальную терапию на 24,5 % (p <0,001).

Особое внимание было уделено анализу результатов лечения пациентов пожилого и старческого возраста (старше 65 лет), которые характеризовались повышенным риском осложнений и летальности. В данной группе частота послеоперационных осложнений составила 28,6 % при открытых вмешательствах и 15,4 % при лапароскопических операциях (p=0,009), а послеоперационная летальность достигала 6,5 %, что значительно превышало показатели общей когорты. Применение индивидуализированных алгоритмов ведения пациентов данной возрастной группы позволило снизить послеоперационную летальность с 9,8 % до 4,3 % (p=0,032) и сократить частоту тяжелых послеоперационных осложнений с 34,1 % до 19,6 % (p=0,004). Полученные результаты демонстрируют, что современная стратегия ведения пациентов с ОВЗОБП должна основываться на комплексном персонализированном подходе, учитывающем нозологическую форму, клинико-демографические характеристики пациента и технические возможности лечебного учреждения. Мультимодальная диагностика с дифференцированным применением визуализирующих методик, преимущественное использование лапароскопических технологий (с учетом обоснованных противопоказаний) и рациональная антибактериальная терапия позволяют существенно улучшить результаты лечения, снизить частоту осложнений и сократить затраты на лечение. Дальнейшие исследования необходимы для разработки более точных прогностических моделей, оптимизации хирургической тактики при осложненных формах ОВЗОБП и совершенствования программ ускоренной реабилитации пациентов после хирургических вмешательств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Solomkin J.S., Mazuski J.E., Bradley J.S., et al. Diagnosis and management of complicated intra-abdominal infection in adults and children: guidelines by the Surgical Infection Society and the Infectious Diseases Society of America // Clinical Infectious Diseases. 2010. Vol. 50(2):133–164. DOI: 10.1086/649554.
2. Sartelli M., Chichom-Mefire A., Labricciosa F.M., et al. The management of intra-abdominal infections from a global perspective: 2017 WSES guidelines // World Journal of Emergency Surgery. 2017. Vol. 12. P. 29. DOI: 10.1186/s13017-017-0141-6.
3. Leppäniemi A., Tolonen M., Tarasconi A., et al. 2019 WSES guidelines for the management of severe acute pancreatitis // World Journal of Emergency Surgery. 2019. Vol. 14. P. 27. DOI: 10.1186/s13017-019-0247-0
4. Di Saverio S., Podda M., De Simone B., et al. Diagnosis and treatment of acute appendicitis: 2020 update of the WSES Jerusalem guidelines // World Journal of Emergency Surgery. 2020. Vol. 15. P. 27. DOI: 10.1186/s13017-020-00306-3.
5. Ansaloni L., Pisano M., Coccolini F., et al. 2016 WSES guidelines on acute calculous cholecystitis // World Journal of Emergency Surgery. 2016. Vol. 11. P. 25. DOI: 10.1186/s13017-016-0082-5
6. Coccolini F., Pistello M., Pozzo A., et al. The open abdomen, indications, management and definitive closure // World Journal of Emergency Surgery. 2015. Vol. 10. P. 32. DOI: 10.1186/s13017-015-0026-5
7. de Mestral C., Rotstein O.D., Laupacis A., et al. Comparative operative outcomes of early and delayed cholecystectomy for acute cholecystitis: a population-based propensity score analysis // Annals of Surgery. 2014. Vol. 259(1):10–15. DOI: 10.1097/SLA.0b013e3182a5cf36
8. Pisano M., Zorcolo L., Merli C., et al. 2017 WSES guidelines on colon and rectal cancer emergencies: obstruction and perforation // World Journal of Emergency Surgery. 2018. Vol. 13. P. 36. DOI: 10.1186/s13017-018-0192-3
9. Козлов Р.С., Голуб А.В. Стратегия использования антимикробных препаратов как попытка ренессанса антибиотиков // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2011. Т. 13, № 4. С. 322–334.
10. Mazuski J.E., Tessier J.M., May A.K., et al. The Surgical Infection Society Revised Guidelines on the Management of Intra-Abdominal Infection // Surgical Infections. 2017. Vol. 18(1). P. 1–76. DOI: 10.1089/sur.2016.261
11. Савельев В.С., Филимонов М.И., Подачин П.В. Современные тенденции в хирургическом лечении перитонита // Анналы хирургии. 2013. № 5. С. 5–13.
12. Sawyer R.G., Claridge J.A., Nathens A.B., et al. Trial of short-course antimicrobial therapy for intraabdominal infection // New England Journal of Medicine. 2015. Vol. 372(21). P. 1996–2005. DOI: 10.1056/NEJMoa1411162.
13. Bhangu A., Søreide K., Di Saverio S., et al. Acute appendicitis: modern understanding of pathogenesis, diagnosis, and management // The Lancet. 2015. Vol. 386(10000). P. 1278–1287. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)00275-5.
14. Takada T., Strasberg S.M., Solomkin J.S., et al. TG13: Updated Tokyo Guidelines for the management of acute cholangitis and cholecystitis // Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences. 2013. Vol. 20(1). P. 1–7. DOI: 10.1007/s00534-012-0566-y.
15. Sudarshan M., Feldman L.S., Stein L.A., et al. Impact of a structured preoperative risk assessment on colorectal surgical outcomes // Surgery. 2016. Vol. 160(5). P. 1297–1303. DOI: 10.1016/j.surg.2016.05.009.

© Кивва Андрей Николаевич (kivva@aaanet.ru); Чубовский Андрей Иванович (chubovskiy14@mail.ru);
Евлахова Инесса Сергеевна (inessa.ev@yandex.ru); Загреба Игорь Владимирович (Lesi.787878@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.31

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОФИЛАКТИКЕ ВТОРИЧНЫХ МИКСТ-ИНФЕКЦИЙ В УСЛОВИЯХ АКТИВАЦИИ КИСЛОРОДНЕЗАВИСИМОЙ АНТИМИКРОБНОЙ СИСТЕМЫ

APPLICATION OF THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODEL IN THE PREVENTION OF SECONDARY MIXED INFECTIONS IN CONDITIONS OF ACTIVATION OF THE OXYGEN-INDEPENDENT ANTIMICROBIAL SYSTEM

K. Kostylev
A. Evgenevsky
A. Kostylev
S. Linchenko
T. Onbysh

Summary. Studies of the oxygen-independent antimicrobial system of neutrophil granulocytes when pyro-genal was administered to laboratory animals (rats) allowed us to establish their functional activity by 7–15 days to trigger and implement an immune response. The creation of an artificial intelligence model in the decision support system (Bayesian networks) mode will make it possible to establish the level of resistance of the body within the framework of sanation stress in terms of the average cytochemical coefficient, which reflects the activation of cationic proteins in neutrophil granulocytes in the prevention of secondary mixed infections.

Keywords: artificial intelligence, Bayesian networks, cationic proteins, immunity, mixed infection.

Костылев Кирилл Александрович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» г. Краснодар
kostileffk@yandex.ru
Евглевский Андрей Александрович
кандидат медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» г. Краснодар
evglandr@mail.ru
Костылев Александр Николаевич
доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Краснодар
MDKostylev@yandex.ru
Линченко Сергей Николаевич
доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» г. Краснодар
s_linchenko@mail.ru
Онбыщ Татьяна Евгеньевна
кандидат фармацевтических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» г. Краснодар
te_onbysh@mail.ru

Аннотация. Исследования кислороднезависимой антимикробной системы нейтрофильных гранулоцитов при введении пирогенала лабораторным животным (крысы) позволили установить их функциональную активность к 7–15 суткам для запуска и реализации иммунного ответа. Создание модели искусственного интеллекта в режиме системы поддержки принятия решений (байесовские сети) позволит установить уровень резистентности организма в рамках санациогенного стресса по показателям среднего цитохимического коэффициента, являющегося отражением активации катионных белков в нейтрофильных гранулоцитах в профилактике вторичных микст-инфекций.

Ключевые слова: искусственный интеллект, байесовские сети, катионные белки, иммунитет, микст-инфекция.

Введение

На современном этапе развития медицинской науки создаются условия для цифровой трансформации здравоохранения путем использования как стандартного программного обеспечения (медицинские информационные сети), так и технологий искусственного интеллекта (ИИ), что является важнейшей тенденцией цифровизации медицины в обеспечении качества медицинской помощи [1,2,3].

Наша работа направлена на интеграцию СППР в клиническую медицину, что позволит обеспечить точную диагностику на базе байесовских сетей программного моделирования показателей контрольной группы и клинических исследований в оптимизации хода лечения, а также персонализированный подход в профилактике вторичных микст-инфекций. Таким образом, наиболее продуктивным будет применение моделей искусственного интеллекта на базе байесовских систем с оценкой вероятности по совокупности симптомов и анализа вероятностных временных рядов.

Развитие вторичных микст-инфекций связано с несколькими возбудителями, включающими вирусы и бактерии, или их комбинацию с грибами. Наличие микст — инфекции вызывает длительное и тяжелое течение как основного заболевания, так и сопутствующей патологии.

Снижение иммунитета является одним из факторов такого осложнения как внебольничная пневмония, являющаяся основной причиной инвалидизации и смерти больных. Угнетение местного и общего иммунитета связано с депрессией активности макрофагов. Исследованиями установлено, что активация фагоцитирующих лейкоцитов и макрофагов происходит при пиротерапии и лихорадке, вызванной введением пирогенала. Именно нейтрофилы и макрофаги образуют эритроклазические костномозговые кластеры, которые обладают решающим значением для запуска и реализации иммунного ответа [8].

Наиболее актуальным является исследование кислороднезависимой антимикробной системы, которая является центральным звеном врожденного клеточного иммунитета в формате фагоцитирующих лейкоцитов. К кислороднезависимой неферментной системе относятся катионные белки (КБ). Создание модели ИИ в изучении влияния пирогенной терапии на активацию нейтрофильных гранулоцитов позволит оценить их функциональную активность с формированием биологического барьера в профилактике вторичных микст-инфекций.

Цель исследования

Применение модели искусственного интеллекта позволит оценить влияние пирогенной терапии на функциональное состояние нейтрофильных гранулоцитов (содержание катионного белка) при внутрибрюшинном введении пирогенала в профилактике вторичных микст-инфекций.

Методы

Объект исследования — нейтрофильные лейкоциты периферической крови у лабораторных животных (крысы) — до эксперимента и в 1, 3, 7, 11, 15 сутки. В эксперименте однократно внутрибрюшинно вводили в дозировке 0,25 мг/кг пирогенал — I группа (n = 7) и физиологический раствор (контрольная группа) — II группа (n = 7). Окраску проводили с помощью бромфенолового синего при pH — 8,2 (Шубич М.Г., 1974). Отражением содержанием КБ в нейтрофильных гранулоцитах (НГ) являлся средний цитохимический коэффициент (СЦК) в условиях использования светового микроскопа МББ-1А (при увеличении 1000-х).

Модель использования ИИ на базе байесовских сетей с разработкой комплекса СППР и алгоритма оценки формирования неспецифического адаптационного синдрома по клиническим симптомам и данным СЦК (% соотношение повторяемости при различных показателях СЦК). Достоверным считали различие при $p < 0,05$.

Основные результаты

Исходно пирогенал использовался как препарат для проведения пиротерапии. В процессе исследований выявлена его высокая эффективность в стимуляции иммунитета, что предопределило использование пирогенала в комплексной терапии как в хирургической, так и в терапевтической практике. Пирогенал — это липополисахарид, образующийся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов Salmonella Typhi, S. aureus и других. Многократные клинические исследования показали, что действие пирогенала связано со стимуляцией и развитием по времени целой цепи защитно-приспособительных реакций организма (Х.Х. Планельс, 1965 г.; А.В. Сорокин, 1965 г.; П.Н. Веселкин, 1965 г.). На современном этапе клинических исследований действие пирогенала стали изучать с позиции теории стресса, в которой выделяют две фазы (стадии) стрессового состояния организма, влияющих на формирование общего неспецифического адаптационного синдрома: первая фаза — alarm и вторая фаза — фаза адаптации [9]. С этой позиции наше исследование активации нейтрофильных гранулоцитов при введении пирогенала укладывается в данную теорию стресса в определении клинических стадий на базе ИИ с оценкой вероятности по совокупности симптомов и анализа вероятностных временных рядов запуска и реализации иммунного ответа.

Для интеграции СППР в объеме наших исследований в опытной группе выделены верхние и нижние границы

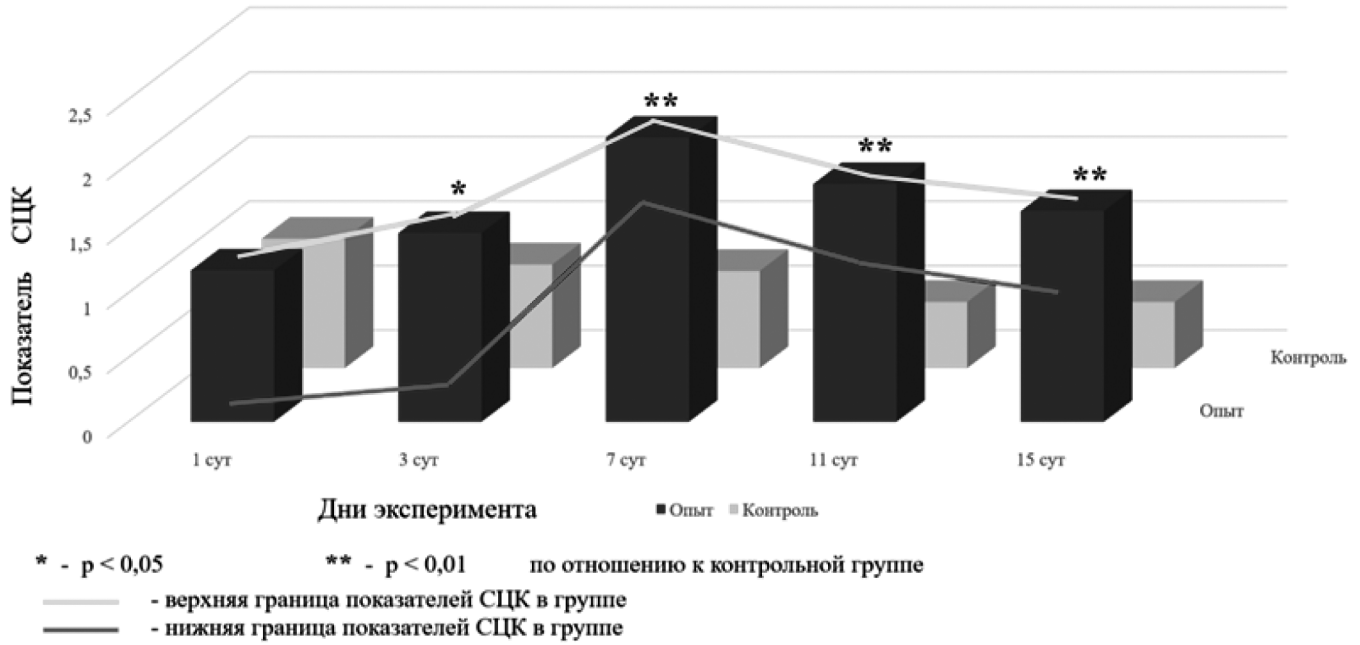


Рис. 1. Величина среднего цитохимического коэффициента (СЦК) катионных белков нейтрофильных гранулоцитов периферической крови у лабораторных животных при однократном введении Пирогенала (опыт) и физиологического раствора (контроль)

показателей СЦК. В первые сутки статистически значимых различий верхних границ показателей СЦК в I и II группах (1,39 и 1,25 отн.ед. соответственно) не выявили. Отмечается функциональная активность КБ в нейтрофильных гранулоцитах с 3 суток и последующим пиком к 7 суткам, оставаясь на высоких цифрах к 11 и 15 суткам эксперимента по показателям СЦК (1,46 ($p<0,05$), 2,20 ($p<0,01$), 1,74 ($p<0,01$), 1,51 ($p<0,05$) отн.ед. соответственно). Разницу между верхней и нижней границами показателей СЦК в I группе составили 10–14 % в первые и третьи сутки, но при этом 4–6 % на 7,11,15 сутки, что доказывает высокую степень активации КБ в нейтрофильных гранулоцитах. Интересен тот факт, что во II группе после введения физиологического раствора отмечали повышение показателей СЦК до 1,25 относительных единиц и снижение в последующие сутки до исходного. Считаем, что это обусловлено стрессом с развитием первой фазы на проведение манипуляции.

Полученные результаты согласуются с исследованиями клиницистов. В терапевтической практике у больных пневмонией вирусно-бактериальной природы достоверно выявляли угнетение активности КБ в период разгара болезни. Более того, повышение уровня КБ было постепенным и ступенеобразным в течение 1–2 месяцев после выписки. Уровень нормализации КБ зависел от сопутствующих заболеваний (холецистит, пиелонефрит) [9]. В хирургической практике у больных острым панкреатитом на третьи сутки выявляли пятикратное увеличение показателей СЦК по отношению к первым суткам (1,78 и 0,37 ($p<0,01$) отн.ед.) с последующим снижением к 9–15 суткам (0,68 отн.ед.). Частой причиной осложнений являлась внебольничная пневмония [10]. Таким образом, поставленная задача оценки активации нейтрофильных гранулоцитов является актуальной в профилактике микст-инфекций.

Создание модели ИИ с интеграцией байесовских сетей основывалась на оценке показателей СЦК во временных режимах (3, 7 и 11 сутки), реализации фаз (I и II) общего неспецифического адаптационного синдрома по алгоритмам симптомов для выработки клинической стратегии в профилактике вторичных микст-инфекций.

Байесовские сети представлены величинами S_{t-1} и Y_{t-1} (входные нейроны) которые зависят только от значений скрытых переменных S_t и Y_t (скрытые нейроны в момент времени t), а последовательность S_t и Y_t обладают марковским свойством, т.е. величины S_t и Y_t зависят только от S_{t-1} и Y_{t-1}. При расчете берется некая гипотеза (A), где появилось некоторое новое условие (B). Нам нужно узнать вероятность A при условии B ($P(B|A) / P(B)$). Для этого берем статистические данные в процентах (по событию A и по событию B) и подставляем их в эту формулу: $[P(B|A) *P(A)]/ P(B)=P(A|B)$. Сопоставление каждых случайных величин S_{t-1} и Y_{t-1} (например, количество клинических симптомов) с ненаблюдаемыми случайными величинами S_t и Y_t (например, общее количество симптомов с определенной патологией) выявляет условное распределение S_{t+1} и Y_{t+1} (выходные нейроны) с последующим прогнозом микст-инфекции.

Следовательно, каждый клинический симптом вторичных микст-инфекций в базе данных ИИ будет обозна-

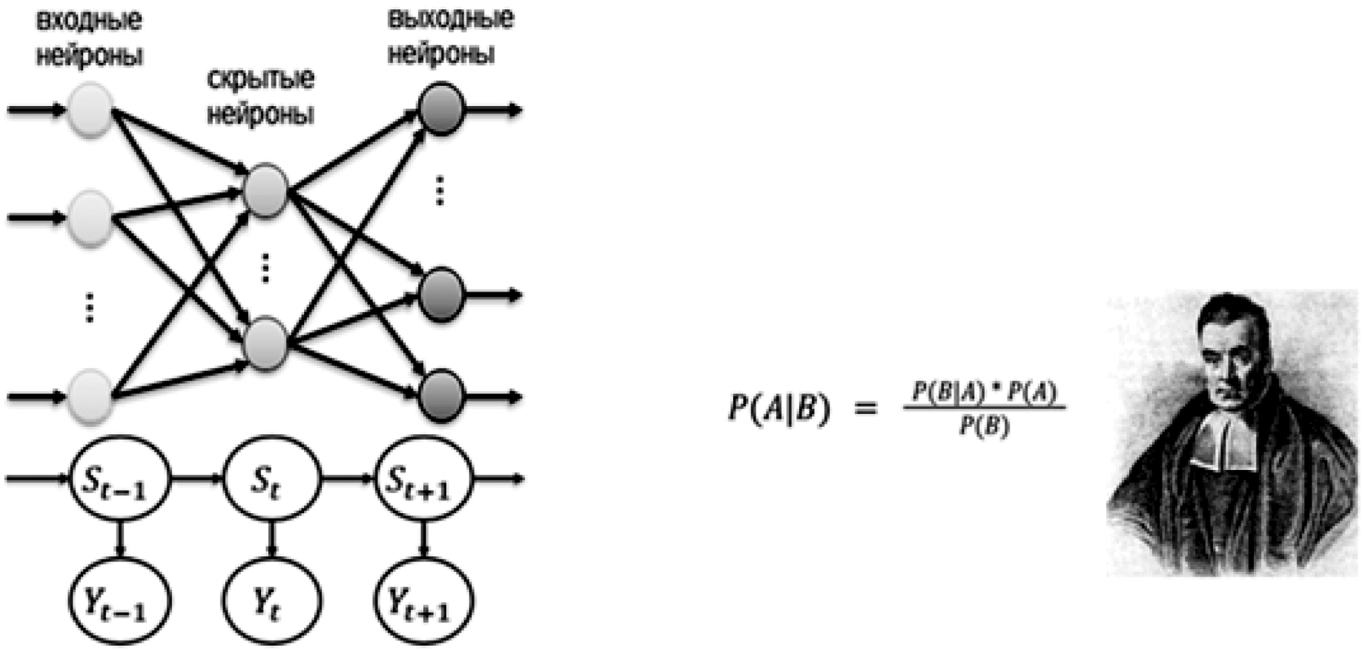
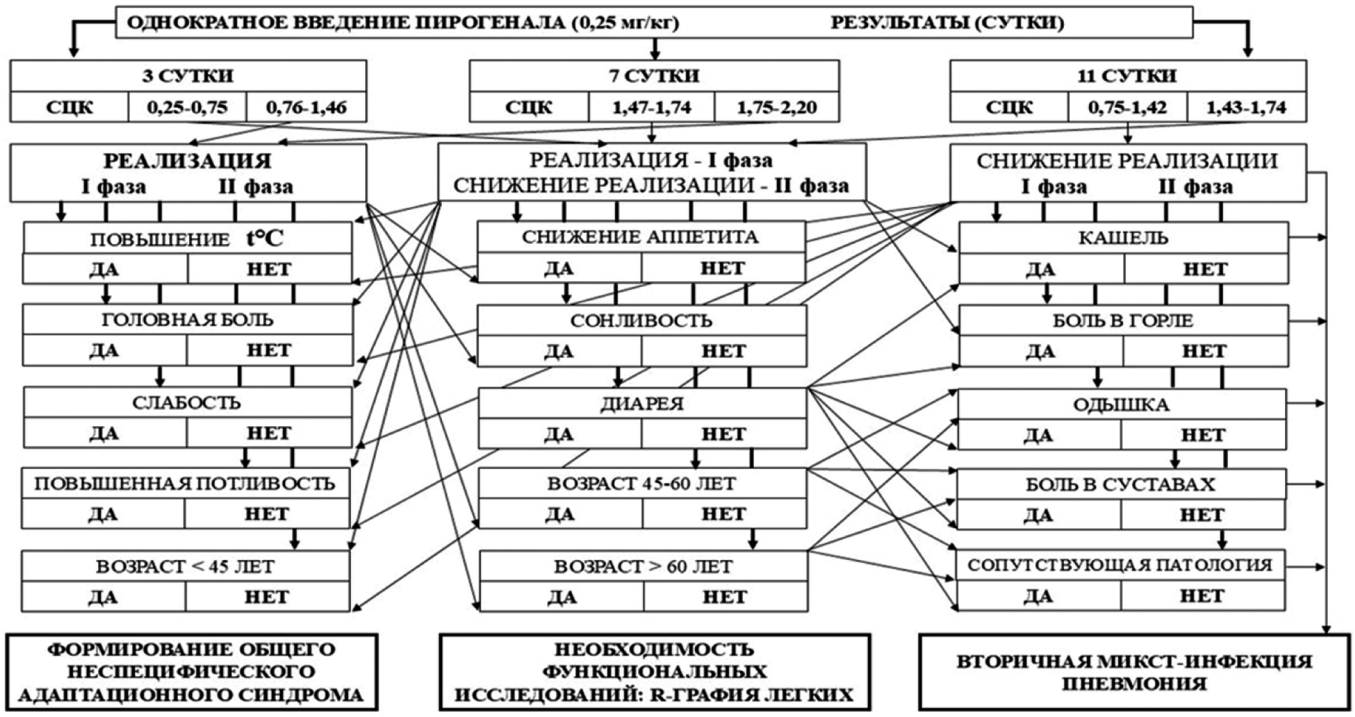


Рис. 2. Байесовские сети



СЦК – величина среднего цитохимического коэффициента катионных белков нейтрофильных гранулоцитов.
ФАЗЫ – общего неспецифического адаптационного синдрома: **I фаза** – alarm, **II фаза** – фаза адаптации.

Рис. 3. Модель использования системы поддержки принятия решений (байесовские сети) в оценке активации кислороднезависимой антимикробной системы нейтрофильных гранулоцитов в профилактике вторичных микст-инфекций (пневмония)

чен в процентном отношении повторяемости при различных показателях СЦК на этапах исследования (сутки)

Заключение

Таким образом, при введении неспецифического инфекционного агента (пирогенал), происходит циклическое изменение содержания КБ в нейтрофильных гранулоцитах, что связано как со стимуляцией интервазального расходования КБ, так и с усилением его синтеза в костномозговую фазу гемопоэза.

Проведение пирогенной терапии в период болезни стационарно или в период ранней реконвалесценции (дневной стационар) позволит максимально оценивать активизацию кислороднезависимой антибактериальной системы на 3,7 сутки после введения пирогенала и ее сохранение до 11 суток с использованием СППР (байесовские сети).

Проведение пирогенной терапии, направленной на активацию кислороднезависимой антимикробной системы в профилактике вторичных микст-инфекций, позволит определить уровень естественной резистентности организма в клинической практике с использованием искусственного интеллекта (СППР — байесовские сети), что имеет большое значение в процессе оценки адаптации организма в рамках санациогенного стресса по данным СЦК и клиническим симптомам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kaur D., Sobiesk M., Patil S. Application of Bayesian networks to generate synthetic health data. Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA. — 2021. — 28(4), 801–811. https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa303
2. Gogoshin G., Branciamore S., & Rodin A.S. Synthetic data generation with probabilistic Bayesian Networks. Mathematical biosciences and engineering: MBE. — 2021. — 18(6), 8603–8621. https://doi.org/10.3934/mbe.2021426
3. Хайруллин Р.З. Применение метода байесовских сетей для установления причинно-следственных связей. / Р.З. Хайруллин. // Известия ТулГУ. Технические науки; — 3. — Тула: ТулГУ, 2022. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metoda-bayesovskih-setey-dlya-ustanovleniya-prichinno-sledstvennyh-svyazey. (дата обращения: 23.04.25).
4. Пучков В.А. Российский национальный доклад. 30 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986–2016 гг. / В.А. Пучков, А.А. Лутошкин, А.Ю. Попова и др. // М.: МЧС России. — 2016. — 202 с. (дата обращения: 23.04.25).
5. The official website of the US Federal Emergency Management Agency (FEMA). [Electronic source] // The official website of the US Federal Emergency Management Agency (FEMA). — 2024. — URL: http://www.fema.gov/plan/prevent/fhm/frm_soft.shtm. (Accessed: 23.04.25)
6. Realtime Online Decision Support System for nuclear emergency management. [Electronic source] // RODOS. — 2022. — URL: http://www.rodos.fzk.de/. (Accessed: 23.04.25)
7. Cai Y. Multiunit nuclear power plant accident scenarios and improvements including those based upon interviews with TEPCO engineers concerning the 2011 Fukushima accidents. / Y. Cai, M.W. Golay // Nuclear Engineering and Design, 365, 110707. — 2020. — 1. — URL: https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2020.110707. (Accessed: 23.04.25).
8. Фомина Ю.В. Состав костного мозга и содержание в нем эритроклазических кластеров при пирогеналовой лихорадке // Успехи современного естествознания. — 2019. — № 1. — С. 26–28; URL: https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=14100 (дата обращения: 23.04.2025).
9. Плехова Н.Г., Сомова Л.М. Роль моноцитов/макрофагов в патогенезе вирусных инфекций // Тихоокеанский медицинский журнал. — 2020. — №3. — С. 5–9.
10. Барсук А.В., Нарсия В.В., Славинский А.А. Антибактериальные катионные белки нейтрофильных лейкоцитов в динамике развития острого панкреатита // Международный журнал экспериментального образования. — 2012. — № 6. — С. 9–10; URL: https://expeducation.ru/ru/article/view?id=2804 (дата обращения: 23.04.2025).

© Костылев Кирилл Александрович (kostileffk@yandex.ru); Евглевский Андрей Александрович (evglandr@mail.ru);
Костылев Александр Николаевич (MDKostylev@yandex.ru); Линченко Сергей Николаевич (s_linchenko@mail.ru);
Онбыщ Татьяна Евгеньевна (te_onbysh@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.38

ПРЕДИКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ОТДЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ РИСКА РАННИХ ОСЛОЖНЕНИЙ ГАСТРЭКТОМИИ У БОЛЬНЫХ РАКОМ ЖЕЛУДКА

RISK FACTOR ANALYSIS FOR EARLY POSTOPERATIVE COMPLICATIONS FOLLOWING GASTRECTOMY IN GASTRIC CANCER PATIENTS

M. Rogozyanskaya
A. Redkin
A. Zhdanov

Summary. *Introduction*. Gastrectomy remains key for locally advanced gastric cancer (GC), yet complication rates (30 %) and mortality (5 %) remain high. Improved techniques and recovery programs haven't fully resolved safety concerns, necessitating better risk assessment and personalized approaches.

Methods. This study identified risk factors for post-gastrectomy complications in 570 GC patients (stages IB–III). *Results*. Complications (Clavien-Dindo) included pancreatitis (2.6 %), bleeding (1.6 %), and anastomotic leak (0.6 %). Grade 3–5 complications occurred in 6.6 %, mortality in 1.6 %. Significant predictors: ECOG >1 (↑risk 2.5–4.8×), splenopancreatic dissection (↑2.8×), T3–4 (↑2.6×), N+ (↑4.3×), and stage ≥IIIA. *Conclusions*: Modifiable factors (e.g., splenopancreatic dissection) must be weighed, but precise T/N staging requires histopathology. Preoperative staging (EUS, PET-CT) should be optimized for risk prediction. A multivariate predictive model is planned to assess cumulative risks.

Keywords: gastrectomy, splenopancreatic dissection, postoperative complications, risk factors.

Рогозянская Марина Игоревна
ФГБОУ Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко; врач-онколог, Воронежский областной научно-клинический онкологический центр
marinamurawjewa@gmail.com
Редькин Александр Николаевич
Доктор медицинских наук, профессор, ФГБОУ Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко
redkin2@yandex.ru
Жданов Александр Иванович
Доктор медицинских наук, профессор, ФГБОУ Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко
a.i.zhdanov@vrngmu.ru

Аннотация. *Введение*. Гастрэктомия — основной метод лечения рака желудка (РЖ), но частота осложнений (до 30 %) и летальность (5 %) остаются высокими. Необходимы новые способы оценки рисков и персонализированный подход. *Цель*. Выявить значимые факторы риска осложнений гастрэктомии и оценить возможности их коррекции. *Материалы и методы*. Ретроспективно проанализированы результаты 570 пациентов с РЖ IB–III стадий после гастрэктомии. Осложнения оценивали по шкале Clavien-Dindo. *Результаты*. Осложнения 3–5 класса — 6,6 %, летальность — 1,6 %. Основные осложнения: панкреатит (2,6 %), кровотечения (1,6 %), несостоятельность анастомоза (0,6 %). Значимые предикторы: ECOG >1 (риск ↑ в 2,5–4,8 раза), спленопанкреатическая диссекция (↑ в 2,8 раза), T3–4 (↑ в 2,6 раза), N+ (↑ в 4,3 раза), стадия IIIA+. *Выводы*. Важен учет модифицируемых факторов (например, объем диссекции), но точная оценка T и N возможна только после гистологии. Необходимы методы дооперационной диагностики (эндосонография, ПЭТ-КТ) для персонализации прогноза. Требуется разработка прогностической модели с многофакторным анализом.

Ключевые слова: гастрэктомия, спленопанкреатическая диссекция, послеоперационные осложнения, панкреатит, факторы риска.

Актуальность

В настоящее время подходы к комплексному лечению рака желудка претерпевают существенные изменения. При местнораспространенном РЖ все шире применяется неоадъювантная лекарственная терапия, лапароскопический доступ и современные технологии диссекции тканей и гемостаза, что дает возможность уменьшить травматичность вмешательства, в том числе за счет снижения кровопотери и длительности операции [1–3]. Для профилактики и лечения ранних послеоперационных осложнений широко применяются программы ускоренного восстановления [4]. Вместе с тем, основным видом оперативного вмешательства при раке желудка IB-IIIC стадий остается гастрэктомия с удалением лимфатических узлов 1 и 2 порядка, а также по показаниям с резекцией прилежащих структур. Несмотря на совершенствование хирургических технологий и развитие мультидисциплинарного подхода к периоперационному ведению пациентов с РЖ, частота

послеоперационных осложнений и летальность остаются высокими, достигая в среднем 30 % и 5 % соответственно [5;6], что диктует необходимость поиска новых средств и методов улучшения профиля безопасности раннего послеоперационного периода.

Рассматривая вопросы безопасности, связанные с выполнением такого травматичного вмешательства, как гастрэктомия, особенно в сочетании со спленэктомией, нельзя не учитывать риски развития различных осложнений и прогностические факторы реализации этих рисков. В последние годы активно разрабатываются системы быстрой и объективной оценки хирургического риска на основе учета анамнестических, клинических, лабораторных, инструментальных параметров с помощью создания соответствующих компьютерных программ [3;7]. Однако, несмотря на полученные результаты, проблема построения прогноза исхода заболевания и персонализированного выбора наиболее безопасного хирургического вмешательства и периоперационного ведения пациента еще далека от разрешения. Поэтому создание новых способов интегральной оценки хирургического риска, прогнозирования осложнений и контроля эффективности лечения является актуальной проблемой в хирургии рака желудка и требует дальнейшего изучения.

Цель исследования

На большом клиническом материале выявить наиболее значимые факторы риска осложнений гастрэктомии у больных раком желудка и оценить возможности их коррекции.

Материал и методы

Для реализации цели и задач исследования нами проведено сравнительное когортное ретроспективное исследование, в основу которого положен анализ ближайших результатов хирургического лечения 570 больных раком желудка IB-III стадий. У большинства пациентов локализация опухоли была в теле желудка, макроскопический тип опухоли 1–4 по Borrman, гистологический тип — аденокарцинома. Среди обследованных пациентов было 365 мужчин (64,0 %) и 205 женщин (36,0 %). Возраст пациентов на дату операции составлял от 29 до 86 лет (среднее значение 64,9±6,4 лет, медиана = 64 года). У 351 пациента (61,6 %) имелась клинически значимая сопутствующая патология, которая была представлена заболеваниями сердечно-сосудистой системы (гипертоническая болезнь, ИБС, ХСН) у 248 пациентов, эндокринными заболеваниями (в основном сахарным диабетом 2 типа) у 50 пациентов, другими болезнями пищеварительного тракта у 130 пациентов, заболеваниями органов дыхания у 38 пациентов, гинекологическими заболеваниями у 57 пациенток, прочими у 54 больных. Часть пациентов имели одновременно несколько заболеваний. Индекс массы тела превышал 30 баллов у 177 пациентов (31,1 %).

Всем пациентам, включенным в исследование, была выполнена гастрэктомия с лимфодиссекцией в соответствии с КР М3 2022 г. Из 570 операций расширенная/расширенно-комбинированная гастрэктомия (РГЭ) с лимфодиссекцией D2 выполнена в 381 случае (66,7 %), включая 274 спленэктомии (48,1 %). Спленопанкреатосохранная гастрэктомия (СПСГЭ) с лимфодиссекцией D2/D1+ проведена у 189 пациентов (48,4 %), из них 8 (1,4 %) — лапароскопическим доступом. У 14 пациентов радикальная операция была произведена после эффективной неоадъювантной ПХТ (схема FLOT), позволившей перевести опухоль в резектабельное состояние, а в 2 случаях уменьшить объем лимфодиссекции до Д1+. Выбор объема лимфодиссекции (и конкретно 10 группы ЛУ), а также показания к спленэктомии зависели от распространенности опухолевого процесса и операционной ситуации с учетом действующих клинических рекомендаций [8;9].

Возникающие осложнения классифицировали с использованием шкалы Clavien-Dindo. Нами был проведен универиантный (однофакторный) анализ случаев возникновения серьезных ранних послеоперационных осложнений в зависимости от «факторов пациента», таких, как пол: (м/ж), возраст: моложе 60 лет (молодой и средний возраст по классификации ВОЗ) или старше 60 лет (пожилой и старческий возраст по классификации ВОЗ), общий статус (ECOG), «факторов операции/хирурга», к которым отнесли длительность операции (менее 120 минут или более 120 минут), степень кровопотери (<300 мл/300–700 мл/>700 мл), выполнение в ходе гастрэктомии резекции/диссекции элементов спленопакреатического комплекса: спленэктомии, резекции дистального отдела ПЖ, лимфодиссекции 10 группы лимфоузлов. Последние этапы мы объединили под рабочим названием «спленопанкреатическая диссекция» (СПД), поскольку они как правило сочетались в той или иной степени. Также был проведен анализ зависимости частоты ранних осложнений от «факторов опухолевого процесса», таких, как глубина инвазии (Т), поражение регионарных ЛУ, стадия заболевания в целом, степень дифференцировки опухоли, макроскопический тип опухоли по Борману, размер и локализация опухоли, а также спаечный процесс в брюшной полости.

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.0.6 и пакета SPSS 23.0. Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью, критерия хи-квадрат Пирсона (при значениях ожидаемого явления более 10). Все различия считали статистически значимыми при P <0,05.

Результаты

В ближайшем послеоперационном периоде осложнения развились у 104 пациентов (18,2 %), всего зарегистрировано 121 осложнение. По классификации Clavien-Dindo осложнения 1–2 класса отмечены у 72 больных (12,6 %), что составило 85 случаев. Осложнения 3–5 класса зафиксированы у 32 пациентов (6,6 %), всего 36 осложнений. Общее количество осложнений превышает число пациентов, так как у некоторых больных наблюдалось несколько осложнений одновременно. Из 36 тяжелых осложнений 10 случаев (1,8 %) закончились летальным исходом. Наиболее частым осложнением стал острый панкреатит и его последствия (перитонит, сепсис, СПОН, абсцессы), зафиксированный в 15 случаях (2,6 %) с 4 летальными исходами. Также отмечены: кровотечения, потребовавшие релапаротомии (9 случаев, 1,6 %, 1 смерть), несостоятельность эзофагоеюноанастомоза (3 случая, 0,6 %, 1 смерть), инфаркт селезенки (1 случай, 0,2 %, 1 смерть), ранняя спаечная непроходимость (2 случая, 0,4 %, 1 смерть), острое нарушение мезентериального кровообращения (1 случай, 0,2 %, 1 смерть), синдром ДВС (2 случая, 0,4%, 1 смерть). Сердечно-сосудистые осложнения включали острый коронарный синдром (2 случая, 0,4 %) и ОНМК (1 случай, 0,2 %) без летальных исходов. У 72 (12,6 %) пациентов наблюдались осложнения 1–2 классов тяжести, в том числе гематомы и серомы в области послеоперационной раны, которые привели к частичному нагноению раны, излеченному консервативными мероприятиями. Также наблюдались локальные флеботромбозы и тромбофлебиты в области стояния венозных катетеров, инфильтраты в области внутримышечных инъекций, которые существенно не повлияли на исход заболевания и на сроки госпитализации.

Экстраабдоминальные «терапевтические» осложнения 1–2 класса были представлены главным образом случаями пневмонии, частота которых преобладала у пациентов, подвергшихся спленопанкреатической диссекции. У одного пациента после расширенной гастрэктомии со спленэктомией произошло острое нарушение мозгового кровообращения по ишемическому типу, от которого пациент скончался. Возможно одной из причин такого грозного осложнения было характерное для пациентов, перенесших спленэктомию, состояние гиперкоагуляции.

Анализ показателя «Ранние осложнения» в зависимости от «факторов пациента»

При анализе данных с использованием критерия «хи-квадрат Пирсона», установлено, что риск возникновения осложнений в группе мужчин был ниже в 1,073 раза, по сравнению с группой женщин, однако различия рисков не были статистически значимыми (95 % ДИ: 0,446–1,948). Риск возникновения осложнений в группе пациентов старше 60 лет был выше в 1,181 раза, по сравнению с группой в возрасте до 60 лет, различия рисков также не были статистически значимыми (95 % ДИ: 0,519–2,687).

У пациентов со статусом ECOG 2 риск возникновения ранних послеоперационных осложнений был в 2,5 раза выше, чем у пациентов со статусом ECOG 1 и в 4,8 раза выше, чем у пациентов со статусом ECOG 0, различия статистически значимы, p = 0,022.

Анализ показателя «Ранние осложнения» в зависимости от группы «факторов операции/хирурга»

Частота развития серьезных осложнений при выполнении СПД была в 2,799 раза выше по сравнению со спленопанкреатосберегающей операцией, различия рисков были статистически значимыми, p=0,031 (95 % ДИ: 0,135–0,943) (используемый метод: Хи-квадрат Пирсона). При оценке показателя «Ранние осложнения» в зависимости от показателя «Длительность операции (категории) «, показателя «Кровопотеря (категории)», не удалось выявить статистически значимых различий (p = 0,988, p = 0,545 соответственно), однако численно риск осложнений при кровопотере свыше 700 мл был в 1,4 раза выше, чем при кровопотере 300–700 мл и в 2 раза выше, чем при кровопотере менее 300 мл.

Анализ зависимости частоты ранних осложнений от «факторов опухолевого процесса».

Риск осложнений в группе пациентов с опухолями типа Борман 3 или 4 был выше в 1,95 раза, по сравнению с группой Борман 1 или 2, однако различия рисков не были статистически значимыми, p>0,05 (95 % ДИ: 0,860–4,423). Риск осложнений в группе пациентов с опухолями размером свыше 5 см был выше в 1,91 раза, по сравнению с группой менее 5 см, однако различия рисков не были статистически значимыми, p>0,05 (95 % ДИ: 0,654–5,536). Риск осложнений в группе пациентов с опухолями, расположенными на задней стенке и/или большой кривизне, а также с тотальным/субтотальным поражением был выше в 1,4 раза, по сравнению с опухолями других локализаций, однако различия рисков не были статистически значимыми, p>0,05 (95 % ДИ: 0,717–3,016). Частота осложнений в группе пациентов с низко-дифференцированными опухолями была в 2,6 раз выше, чем в группе с высоко- и умеренно-дифференцированными опухолями, но отношение рисков не достигало статистической значимости (p=0,190).

Статистически значимым было влияние на частоту и характер осложнений факторов глубины инвазии, регионарного метастазирования и стадии процесса в целом. При наличии метастазов в регионарные ЛУ риск

осложнений был выше в 4,3 раза, различия рисков были статистически значимыми (p = 0,034); (95 % ДИ: 0,996–18,736).

Риск осложнений в группе T 3+4 был выше в 2,625 раза, по сравнению с группой T 1+2, различия рисков были статистически значимыми (p = 0,039) (95 % ДИ: 1,019–6,760).

При сопоставлении показателя «ранние п/о осложнения» в зависимости от показателя «спаечный процесс в брюшной полости», нам не удалось выявить статистически значимых различий (p = 0,107) (*используемый метод: Хи-квадрат Пирсона*), хотя при распространенном спаечном процессе процент осложнений был в 1,7 раза выше, чем при его отсутствии или локальном характере.

Обсуждение

По данным литературы наиболее частыми ранними интраабдоминальными осложнениями 3–5 классов тяжести после гастрэктомии являются несостоятельность швов пищеводно-кишечного анастомоза (ПКА), острый панкреатит и его последствия, внутрибрюшные кровотечения. [3; 5; 10]. Полученные нами результаты в целом соответствуют этим данным. При универиантном анализе факторов риска статистически значимыми предикторами осложненного течения послеоперационного периода были исходный статус ECOG выше 1; резекционно-диссекционное вмешательство на элементах спленопанкреатического комплекса (спленэктомия, резекция/травма поджелудочной железы, лимфодиссекция в воротах селезенки — 10 группа ЛУ); глубина инвазии T3–4, регионарное метастазирование N+ и стадия процесса IIIA и выше. Такие факторы, как пол, возраст, тип опухоли по Борману, локализация, размер и степень дифференцировки опухоли, длительность операции и интраоперационная кровопотеря, спаечный процесс в брюшной полости также оказывали влияние на вероятность осложнений, но не достигли статистической значимости при универиантном анализе. Отдельно следует упомянуть такой важный и статистически значимый модифицируемый фактор риска, как вмешательство на элементах спленопанкреатического комплекса (СПД), которое увеличивает риск осложнений в 4,2 раза. Согласно КР М3 спленэктомию при хирургическом лечении РЖ следует производить при непосредственном распространении опухоли на селезенку; локализации T3–4 опухоли на задней стенке и большой кривизне верхней трети тела желудка; интраоперационной травме; наличии определяемых метастазов в лимфатических узлах ворот селезенки; инвазиии опухолью хвоста поджелудочной железы и селезеночных сосудов [8]. Однако точная оценка показателей T и N, инвазии опухоли в прилежащие органы, в том числе ПЖ и степени ее травматизации возможна только при гистологическом исследовании удаленного препарата, которое доступно только через несколько дней после операции, а принятие решения об объеме операции хирург должен принимать непосредственно у операционного стола, руководствуясь результатами зрительной и пальпаторной ревизии органов брюшной полости, данными инструментальных исследований и/или диагностической видеолапароскопии. Поэтому с целью поиска возможных путей минимизации риска осложнений необходимо проведение сравнительного исследования диагностической ценности определения распространенности опухолевого процесса (а именно критериев T и N) по оценке оперирующего хирурга на основании интраоперационной ревизии брюшной полости и имеющихся данных стандартных дооперационных исследований в сравнении, например, с методами предоперационной эндосонографии и ПЭТ-КТ/КТсКУ. Кроме этого, для изучения эффектов совокупного воздействия нескольких факторов на риск осложнений и персонализации прогноза необходимо построение соответствующей прогностической модели с использованием методов многофакторного анализа, что нами планируется в дальнейшем.

Выводы

1. Статистически значимыми предикторами осложненного течения послеоперационного периода были следующие: исходный статус ECOG выше 1; резекционно-диссекционное вмешательство на элементах спленопанкреатического комплекса (спленэктомия, резекция/травма поджелудочной железы, лимфодиссекция в воротах селезенки — 10 группа ЛУ); глубина инвазии T3–4, регионарное метастазирование N+ и стадия процесса IIIA и выше. Такие факторы, как пол, возраст, тип опухоли по Борману, локализация, размер и степень дифференцировки опухоли, длительность операции и интраоперационная кровопотеря, спаечный процесс в брюшной полости также оказывали влияние на вероятность осложнений, но не достигли статистической значимости.
2. С целью поиска возможных путей минимизации риска осложнений необходимо проведение сравнительного исследования диагностической ценности определения распространенности опухолевого процесса (а именно критериев T и N) по оценке оперирующего хирурга на основании интраоперационной ревизии брюшной полости и имеющихся данных дополнительных дооперационных исследований, в частности эндоУЗИ и ПЭТ-КТ.
3. Для изучения эффектов совокупного воздействия нескольких факторов на риск осложнений требуется построение соответствующей прогностической модели с использованием методов многофакторного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лядов В.К. Периоперационная химиотерапия рака желудка: состояние проблемы / В.К. Лядов, О.А. Пардабекова, М.А. Лядова // Современная онкология. — 2018. — Том 20, № 2. — С. 56–60.
2. Непосредственные результаты лапароскопических резекций желудка и гастрэктомий при раке / А.С. Аллахвердян, А.Н. Анипченко, Н.Н. Анипченко, Д.А. Тульских // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. — 2021. — № 7. — С. 153–156.
3. Постолов М.П. Современные подходы к хирургическому лечению больных раком желудка: специальность 03.01.09 «Хирургия», 03.01.06 «Онкология, лучевая терапия»: диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Постолов Михаил Петрович; Ростовский государственный медицинский университет. — Москва, 2024. — 259 с.
4. Влияние полноты соблюдения программы ускоренного восстановления на результаты хирургического лечения рака желудка / О.В. Ильина, Д.В. Ручкин, И.А. Козырин, Ю.А. Степанова // Высокотехнологическая Медицина. — 2021. — Том 8, № 2. — С. 31–45.
5. Черноусов А.Ф. Осложнения гастрэктомии / А.Ф. Черноусов, Т.В. Хоробрых, П.В. Ногтев. — Москва: Практическая медицина, 2017. — 136 с.
6. Incidence and Grading of Complications After Gastrectomy for Cancer Using the GASTRODATA Registry: A European Retrospective Observational Study / G.L. Baiocchi, S. Giacopuzzi, D. Reim [et al.]. — DOI 10.1097/SLA.0000000000004341 // Annals of surgery. — 2020. — Volume 272, № 5. — P. 807–813.
7. Безопасность хирургической помощи: элементы системного подхода к проблеме. Часть 1 / А.М. Карсанов, А.А. Кульчиев, С.С. Маскин [и др.]. — DOI 10.37882/2223–2966.2021.08.11 // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. — 2021. — № 8. — С. 162–167.
8. Клинические рекомендации по лечению рака желудка, 2020 г. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://oncology-association.ru/wpcontent/uploads/2020/09/rak_zheludka.pdf.
9. Ma G. Japanese gastric cancer treatment guidelines 2018 (5-th edition) / G. Ma // Gastric Cancer. — 2021. — Volume 24, № 1. — P. 1–21.
10. Postoperative Complications of Laparoscopic Total Gastrectomy versus Open Total Gastrectomy for Gastric Cancer in a Meta-Analysis of High-Quality Case-Controlled Studies / M. Inokuchi, S. Otsuki, N. Ogawa [et al.]. — DOI 10.1155/2016/2617903 // Gastroenterology Research and Practice. — 2016. — № 26. — P. 17903.

© Рогозянская Марина Игоревна (marinamurawjewa@gmail.com); Редькин Александр Николаевич (redkin2@yandex.ru);
Жданов Александр Иванович (a.i.zhdanov@vrngmu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.39

ВЛИЯНИЕ БИОПЛЕНОК УРОГЕНИТАЛЬНОГО ТРАКТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАНДАРТНОЙ ТЕРАПИИ РЕЦИДИВИРУЮЩЕГО БАКТЕРИАЛЬНОГО ВАГИНОЗА

EFFECT OF UROGENITAL TRACT BIOFILMS ON THE EFFICACY OF STANDARD THERAPY OF RECURRENT BACTERIAL VAGINOSIS

K. Rossolovskaya
N. Trifonova
E. Bragina
I. Gadaeva
M. Polidanov
L. Spivak

Summary. The high rate of recurrent and refractory bacterial vaginosis actualizes the need for an advanced study of the causes of this trend and calls into question the effectiveness of available monotherapeutic regimens. Based on Sechenov University, Moscow, and LLC «Family Polyclinic No. 4», Korolev, a study was conducted to compare the efficacy of standard metronidazole therapy in situations of «biofilm» and «non-biofilm» bacterial vaginosis in women with a history of 3 or more recurrences. Transmission electron microscopy was used to diagnose biofilms in 36 of 58 (62.1 %) patients, the presence of which was confirmed in 32 of 36 (88.9 %) cases after treatment. In this group of patients, the absence of microbiome normalization after metronidazole monotherapy (ineffectiveness) was significantly more often observed compared to women with «non-biofilm» bacterial vaginosis: 20 (n=36) and 3 (n=22) patients, respectively. Thus, it is legitimate to say about significantly lower susceptibility of patients with biofilm form of recurrent bacterial vaginosis to metronidazole monotherapy. This study proves the need to search for alternative approaches to treatment and introduction into clinical practice of means aimed at biofilm destruction.

Keywords: bacterial vaginosis, biofilms, metronidazole, treatment of bacterial vaginosis, diagnosis of bacterial vaginosis, electron microscopy.

Россоловская Ксения Антоновна
Аспирант, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)
dr.rossolovskaya@yandex.ru
Трифонова Наталья Сяитовна
доктор медицинских наук, профессор, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)
trifonova.nataly@mail.ru
Брагина Елизавета Ефимовна
доктор биологических наук, профессор, Медико-генетический научный центр им Н.П. Бочкова, г. Москва; Московский государственный университет, г. Москва
bragor@mail.ru
Гадаева Ирина Викторовна
кандидат медицинских наук, доцент, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)
gadaeva-gin@gmail.com
Полиданов Максим Андреевич
специалист научно-исследовательского отдела, Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru
Спивак Леонид Григорьевич
доктор медицинских наук, профессор, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)
leonid.spivak@gmail.com

Аннотация. Высокий уровень рецидивирующих и рефрактерных форм бактериального вагиноза актуализирует задачу углубленного изучения причин данной тенденции и ставит под сомнение эффективность доступных моно терапевтических схем. На базе Сеченовского университета г. Москвы и ООО «Семейная поликлиника №4» г. Королев проведено исследование, посвященное сравнительной оценке эффективности стандартной терапии метронидазолом в ситуациях «биопленочного» и «небиопленочного» бактериального вагиноза у женщин с 3 и более его рецидивами в анамнезе. С помощью трансмиссионной электронной микроскопии были диагностированы биопленки у 36 из 58 (62,1 %) обследованных, присутствие которых после курса лечения подтверждено в 32 из 36 (88,9 %) случаях. У данной группы пациенток достоверно чаще наблюдалось отсутствие нормализации микробиома после монотерапии метронидазолом (неэффективность), по сравнению с женщинами с «небиопленочным» бактериальным вагинозом: у 20 (n=36) и 3 (n=22) пациенток соответственно. Таким образом, правомерно сказать о значительно более низкой приверженности пациенток с биопле-



ночной формой рецидивирующего бактериального вагиноза к монотерапии метронидазолом. Это исследование доказывает необходимость поиска альтернативных подходов к лечению и внедрения в клиническую практику средств, направленных на разрушение биопленки.

Ключевые слова: бактериальный вагиноз, биопленки, метронидазол, лечение бактериального вагиноза, диагностика бактериального вагиноза, электронная микроскопия.

Введение

Бактериальный вагиноз (БВ) — поли микробный синдром со сложной патофизиологией, который на сегодняшний день остается одной из наиболее частых причин патологических выделений у женщин репродуктивного возраста [1]. Внимание исследователей к бактериальному вагинозу с годами не только не угасает, а напротив вызывает все больший интерес, что связано, в первую очередь, с ростом его рецидивирующих и рефрактерных к лечению форм. Большое клиническое значение данного синдрома требует углубленного изучения его патогенетических особенностей, досконального изучения эффективности применяющихся антибактериальных препаратов, а также поиска альтернативных подходов к лечению [2].

Метронидазол уже более четырех десятилетий остается препаратом первой линии терапии бактериального вагиноза [3,4]. Уровень приверженности стандартной антибактериальной терапии, согласно данным разных исследователей, широко варьирует и составляет от 46 до 96 % [5,6]. Однако, более чем половина всех пациенток сталкивается с рецидивом в течение полугода, а до 80 % женщин в течение 9 месяцев после лечения [1,3].

На сегодняшний день общепризнанным является тот факт, что бактериальный вагиноз относится к «биопленочным» состояниям, при которых бактерии существуют не изолированно, а в виде агломераций микроорганизмов, адгезированных к слизистой оболочке влагалища или образующих связи между собой и окруженных полимерным матриксом [1,7]. Матрикс, продуцируемый самими бактериями, состоит из углеводов, белков и нуклеиновых кислот и служит своего рода «скелетом» биопленки, в который внедрены микроорганизмы [7]. Важно отметить, что биопленка не является статичной структурой. Биопленка — это живая и динамичная форма существования, внутри которой бактерии проявляют повышенную клеточную активность, значительно превышающую показатели, наблюдаемые в планктонных формах [8]. Концентрация бактерий в биоплёнке может достигать 10^{11} КОЕ/мл [9].

Хорошо известно, что биопленка обеспечивает устойчивость бактерий к внутренним и внешним (химическим и механическим) факторам, что в свою очередь приводит к снижению эффективности лечения и увеличивает риск рецидива [3,10]. Так, например, показано, что бактерии в условиях биопленки в 1000 раз более устойчивы к антибиотикотерапии по сравнению с планктонными формами [11].

Эти актуальные сведения об этиопатогенезе бактериального вагиноза положили начало изучению антибиопленочных агентов, включая различные антисептики, катионные пептиды, растительные экстракты, пробиотики, поверхностно-активные вещества и, конечно, ферменты, которые могли бы способствовать проникновению в структуру биопленки и влиять как на уровень излечения, так и на риск развития рецидива [12,13]. Несмотря на очевидную перспективу данной группы лекарственных средств в отношении бактериального вагиноза, на сегодняшний день они не включены в перечень рекомендованных препаратов для лечения подобных состояний в соответствии с действующими клиническими рекомендациями. Учитывая вышеизложенное, с позиции современных представлений об этиопатогенезе бактериального вагиноза, обоснован интерес к изучению эффективности уже имеющихся лекарственных средств.

Цель: изучить микробиом влагалища и морфологию эпителия влагалища с помощью электронной микроскопии in vivo до- и после терапии метронидазолом для оценки его эффективности в лечении биопленочного бактериального вагиноза.

Материалы и методы

Исследование проведено на базе клиники акушерства и гинекологии им. В.Ф. Снегирева Первого МГМУ им. И.М. Сеченова и ООО «Семейная поликлиника №4» г. Королев и одобрено локальным этическим комитетом (ЛЭК) Сеченовского Университета (выписка из протокола № 17-23 от 05.10.2023 г.), а также ЛЭК Семейной поликлиники №4 г. Королёв (выписка из протокола №175 от 29.02.2024 г.).

В период с июня 2024 г. по апрель 2025 г. в исследование включено 60 пациенток в возрасте от 18 до 45 лет с верифицированным диагнозом «бактериальный вагиноз», имеющих 3 и более рецидива в анамнезе. Пациентки были пролечены по схеме: метронидазол 500 мг 2 раза в день перорально в течение 7 дней. Для профи-

лактики вульвовагинального кандидоза к терапии добавляли флуконазол, 150 мг, по 1 таблетке внутрь на 1-й и 3-й день лечения. Каждой пациентке были даны разъяснения о возможных побочных эффектах метронидазола (тошнота, головная боль, головокружение, дисгевзия и др.). Все участники исследования были предупреждены о необходимости исключить прием алкогольных напитков на время лечения из-за риска развития дисульфирамоподобной реакции в сочетании с этанолом. При возникновения нежелательных явлений в ходе исследования пациентка информировалась о необходимости незамедлительно сообщить о них исследователю для определения дальнейшей тактики.

Для включения пациентки в исследование соблюдались следующие условия: возраст 18–45 лет, подтвержденный клинико-лабораторными данными диагноз «бактериальный вагиноз», наличие письменного информированного согласия пациентки на участие в исследовании.

При диагностированных инфекциях, передающихся половым путем, а также при наличии противопоказаний к применяемым препаратам женщины не включались в исследование.

Методами исключения из исследования являлись: добровольный отказ от дальнейшего участия в исследовании, неподтвержденный диагноз БВ по данным лабораторных методов исследования, отсутствие приверженности пациента к лечению, беременность и лактация.

После подписания информированного добровольного согласия пациенткам проводили забор биоматериала для электронной микроскопии соскоба эпителия заднего свода влагалища с целью морфологической оценки слизистой до начала терапии (при 1-ом визите) и после лечения (на 21-й день исследования), а также образцов для расширенной оценки состава микробиома урогенитального тракта женщины методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени (ПЦР-РВ, Фемофлор 16, ДНК-технология).

Для электронно-микроскопического исследования материал был получен из заднего свода влагалища с помощью зонда урогенитального «тип В». Полученное свободное отделяемое влагалища и соскоб эпителиальных клеток фиксировали 2,5 %-м раствором глютарового альдегида на какодилатном буфере (pH 7,2) при температуре режиме +4°С в течение 3-х суток и 1 %-м водным раствором четырехокиси осмия при +4°С в течение часа, дегидратировали в восходящей концентрации этилового спирта и ацетоне и заливали в эпоксидную смолу. Ультратонкие срезы были получены на микротоме «UltraCut III» («Reichert Jung Optische Werke AG», Австрия), докрашивали цитратом свинца («Serva», Германия) и просматривали в электронном микроскопе JEM-1014 («JEOL», Japan), снабженного камерой «Orius SC1000 W» («Gatan»).

На основании данных электронной микроскопии все пациентки ретроспективно были разделены на 2 группы по признаку наличия или отсутствия биопленок: I группа — «биопленочный» БВ, II группа — «небиопленочный» БВ.

Забор биоматериала для полимеразной цепной реакции проводился с заднего свода влагалища с помощью зонда урогенитального тип «Д-1» и помещался в одноразовые эппендрофы с транспортной средой «СТОР-Ф». Хранение образцов производилась в соответствии с инструкцией, транспортировка осуществлялась при соблюдении необходимого температурного режима в течение 24–48 часов от момента получения.

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.8.3 (разработчик — ООО «Статтех», Россия). Нормальность распределения количественных данных оценивали критерием Колмогорова-Смирнова. Нормально распределённые данные описывались с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD) (95 %ДИ (доверительный интервал)), отличные от нормального — с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1–Q3). Категориальные переменные представлены абсолютными и относительными частотами. При сравнении двух групп рассчитывалось отношение шансов и 95 % доверительный интервал. Для таблиц сопряженности использовали χ^2-Пирсона (ожидаемые частоты ≥10) или точный критерий Фишера (при значениях ожидаемого явления <10). В случае нулевых значений числа наблюдений в ячейках таблицы сопряженности расчет отношения шансов выполнялся с поправкой Холдейн-Энскомб. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

В исследование включено 60 пациенток в возрасте от 18 до 45 лет с лабораторно подтвержденным бактериальным вагинозом. Две пациентки были исключены из наблюдения по причине несоблюдения схемы терапии, таким образом основной этап терапии завершило 58 женщин, данные которых использовались для статистической обработки и анализа результатов. Средний возраст составил 29,5 лет (Q1–Q3 = 26,0–38,0).

Ключевым методом диагностики, который применялся в данном исследовании — трансмиссионная электронная микроскопия (ТЭМ), с помощью которой удалось определить «биопленочную» форму бактериального вагиноза, а также отследить динамику морфологической структуры биопленки в динамике (до и после курса анти-

бактериальной терапии). Под биопленкой в ходе исследования принималось скопление бактерий, чаще гетерогенной формы, заключенных в волокнистый матрикс.

Из 58 образцов, полученных при первом визите от женщин с лабораторно верифицированным бактериальным вагинозом, в 36 случаях (62,1 %; 95 %ДИ: 48,4–74,5) методом трансмиссионной электронной микроскопии были обнаружены биопленки. Данные пациентки составили I группу (n=36). На рис. 1а представлены колонии микроорганизмов, плотно располагающихся друг к другу. На рис. 1б фрагмент колонии микроорганизмов различной морфологии, соединенных волокнистым матриксом, что достоверно верифицирует матрикс биопленки, который служит ее «каркасом». У 22 пациенток (37,9 %; 95%ДИ: 25,5–51,6) обнаружены скопления микроорганизмов, однако без визуализации волокнистого матрикса, что свидетельствует о «небиопленочном» бактериальном вагинозе. Данные пациентки вошли в состав II группы (n=22).

Повторное морфологическое исследование эпителия заднего свода влагалища на 21-й день исследования подтвердило присутствие биопленок у 32 из 36 пациенток I группы (88,9 %), у которых ранее она была выявлена. Как видно на рис. 2, в материале той же пациентки после семидневного курса таблетированной формы метронидазола, структура биопленки осталась неизменной после лечения. Следует отметить, что благодаря возможностям трансмиссионной электронной микроскопии у некоторых пациенток удалось обнаружить присутствие биопленки в складках (криптах) эпителиальных клеток влагалища. У 4-х из 36 (11,1 %) пациенток I группы отмечено исчезновение биопленки в ходе лечения, при этом у 3-х из 36 больных (8,3 %) I группы, по данным электронной микроскопии выявлены: чистый эпителий с единичными бактериями (планктонные формы микроорганизмов, в том числе лактобактерии) (рис. 3). Аналогичное лабораторное заключение было получено у большинства пациенток II группы (n=14, 63,6 %). У одной женщины с «биопленочным» бактериальным ваги-

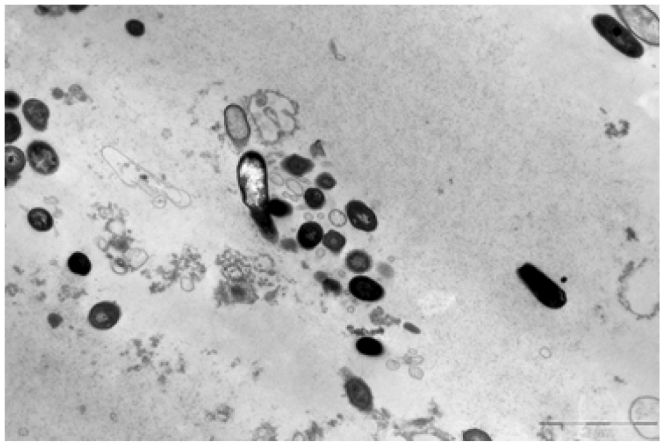


Рис.1а. Соскоб эпителия заднего свода влагалища у пациентки.
Размер масштабной линейки — 2 мкм.

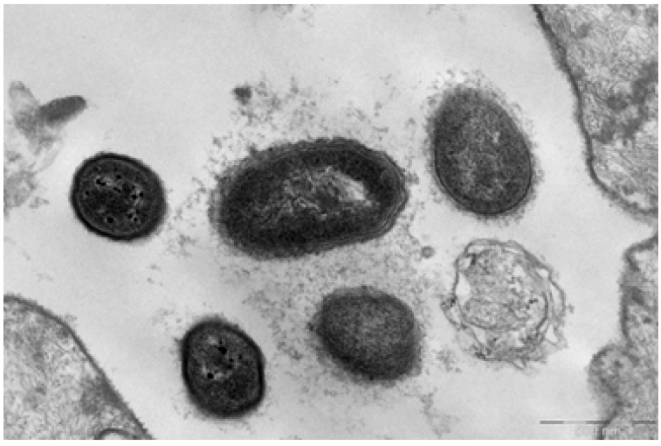


Рис. 1б. Микрофотограмма образца соскоба эпителия заднего свода влагалища у пациентки.
Размер масштабной линейки — 500 нм.

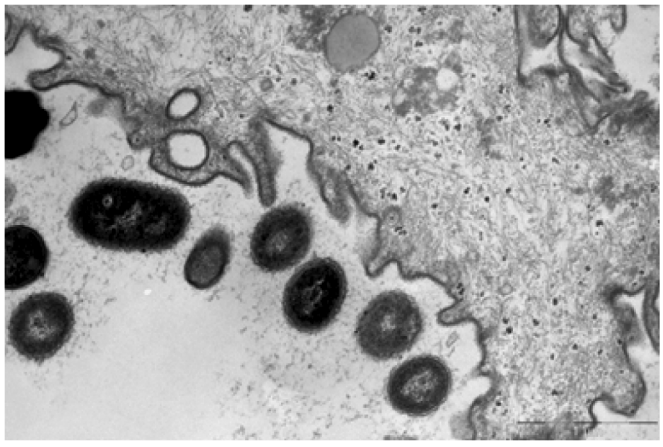


Рис. 2. Соскоб эпителия заднего свода влагалища у пациентки после лечения семидневным курсом перорального метронидазола. Биопленки на эпителии.
Размер масштабной линейки — 1 мкм.

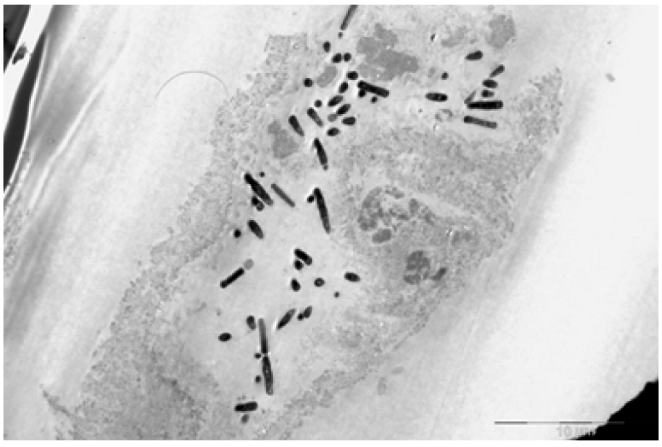


Рис. 3. Соскоб эпителия заднего свода влагалища у пациентки после лечения семидневным курсом перорального метронидазола. Лактобактерии.
Размер масштабной линейки — 10 мкм.

нозом и у 8 с «небиопленочным» бактериальным вагинозом сохранялись скопления гетерогенных по форме микробов, но говорить о биопленке в данном случае неправомерно из-за отсутствия ее основного компонента — матрикса.

Второй метод диагностики в данном исследовании — полимеразная цепная реакция в режиме реального времени — позволил качественно и количественно оценить микробный состав влагалища. У всех пациенток наблюдалось снижение абсолютного количества лактобактерий во влагалище и их замещение облигатными анаэробами. Частота выявления облигатно-анаэробных микроорганизмов у пациенток до и после лечения представлена в таблице 1. Наиболее часто у пациенток обеих групп выявлялась Gardnerella vaginalis (совместно с Prevotella bivia и Porphyromonas spp.), которая обнаружена у 57 из 58 женщин (98,3 %), Eubacterium spp. (n=52, 89,7 %), группа бактерий Megasphaera spp. + Veillonella spp. + Dialister spp. (n=37, 63,8 %), а также Atopobium vaginae/Fannyhessea vaginae (n=36, 62,1 %). Реже всего, только у 18 женщин (31 %), выявлялась группа микроорганизмов Sneathia spp. + Leptotrichia spp. + Fusobacterium spp. Частота выявления облигатно-анаэробных микроорганизмов до лечения у пациенток I и II групп сопоставима (p>0,05).

Повторная оценка методом ПЦР-РВ проводилась через 3 недели от начала терапии, или на 21-й день исследования. Полная нормализация микробиома (абсолютный нормоценоз, Lactobacillus spp. >80 %, отсутствие облигатно-анаэробной флоры или ее количество менее 0,1 %) по данным ПЦР-РВ зафиксирована только у 13 из 58 пациенток (22,4 %), у других участниц исследования сохранялась облигатно-анаэробная флора (таблица 1). Стоит отметить, что Gardnerella vaginalis (совместно с Prevotella bivia, Porphyromonas spp.), Eubacterium spp., Megasphaera spp. (вместе с Veillonella spp., Dialister spp.), а также Atopobium vaginae/Fannyhessea vaginae достоверно чаще выявлялись в группе пациенток с «биопленочным» бактериальным вагинозом после курса терапии (p <0,05)

Стоит отметить, что Gardnerella vaginalis (совместно с Prevotella bivia, Porphyromonas spp.), Eubacterium spp., Megasphaera spp. (вместе с Veillonella spp., Dialister spp.), а также Atopobium vaginae/Fannyhessea vaginae достоверно чаще выявлялись в группе пациенток с «биопле-

Таблица 1.

Частота выявления облигатно-анаэробных микроорганизмов по данным полимеразной цепной реакции (Фемофлор 16) у женщин с «биопленочным» (группа I) и «небиопленочным» (группа II) бактериальным вагинозом до и после семидневной терапии пероральным метронидазолом.
* — различия показателей статистически значимы (p <0,05)

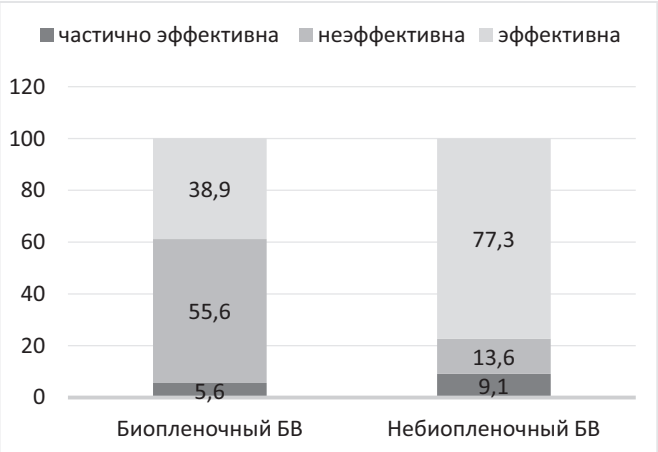
Выявленный показатель	До лечения				После лечения			
	группа		ОШ (95% ДИ)	p	группа		ОШ (95% ДИ)	p
	I	II			I	II		
Gardnerella vaginalis, Prevotella bivia, Porphyromonas spp.	36 (100,0)	21 (95,5)	5,09 (0,2–130,7)	0,33	27 (75,0)	9 (40,9)	0,4 (1,4–13,5)	0,01*
Eubacterium spp.	33 (91,7)	19 (86,4)	1,7 (0,3–9,5)	0,52	28 (77,8)	7 (31,8)	7,5 (2,3–24,7)	<0,001*
Sneathia spp., Leptotrichia spp., Fusobacterium spp.	12 (33,3)	6 (27,3)	1,3 (0,4–4,3)	0,63	6 (16,7)	2 (9,1)	2,0 (0,4–10,9)	0,42
Megasphaera spp., Veillonella spp., Dialister spp.	25 (69,4)	12 (54,5)	1,89 (0,6–5,7)	0,25	21 (58,3)	6 (27,3)	3,7 (1,2–11,8)	0,02*
Lachnobacterium spp., Clostridium spp.	20 (55,6)	8 (36,4)	2,19 (0,7–6,5)	0,16	10 (27,8)	3 (13,6)	2,4 (0,6–10,1)	0,22
Mobiluncus spp., Corinebacterium spp.	23 (63,9)	11 (50,0)	1,77 (0,6–5,2)	0,29	16 (44,4)	6 (27,3)	2,1 (0,7–6,7)	0,19
Peptostreptococcus spp.	19 (52,8)	10 (45,5)	1,34 (0,5–3,9)	0,59	14 (38,9)	4 (18,2)	2,86 (0,8–10,2)	0,11
Atopobium vaginae	25 (69,4)	11 (50,0)	2,3 (0,8–6,8)	0,14	15 (41,7)	3 (13,6)	4,52 (1,1–18,1)	0,03*

ночным» бактериальным вагинозом (p <0,05) после лечения.

Результаты лечения, основанные на определении соотношений нормальной и условно-патогенной микрофлоры, у пациенток I и II групп продемонстрированы на диаграмме 1. Из 58 завершивших исследование женщин терапия оказалась эффективной у 14-ти из 36 (38,9 %) пациенток I группы и у 17-ти из 22 (77,3%) во II группе (p<0,05). В случае «биопленочного» бактериального вагиноза достоверно чаще наблюдалась неэффективность терапии (55,6 %) по сравнению с группой без биопленок (13,6 %), p<0,05. Частично неэффективной была признана терапия, при которой отмечалась тенденция к росту Lactobacillus spp., однако их доля не достигла целевого значения (абсолютный нормоценоз, Lactobacillus spp. > 80 %), что зафиксировано в 4-х случаях в равном количестве среди пациенток обеих групп.

Диаграмма 1.

Оценка эффективности терапии у женщин с «биопленочным» (n=36) и «небиопленочным» (n=22) бактериальным вагинозом после семидневного курса перорального метронидазола



Обращает на себя внимание факт выявления биопленок на слизистой эпителия влагалища у 10 женщин с полной нормализацией микробиома после лечения по данным ПЦР-РВ (абсолютный нормоценоз).

Таким образом, проведенное исследование продемонстрировало недостаточную эффективность монотерапии (метронидазол) у пациенток с рецидивирующим бактериальным вагинозом, особенно в ситуации его «биопленочных» форм.

Обсуждение

Высокий уровень рефрактерных и рецидивирующих форм бактериального вагиноза ставит под сомнение имеющиеся терапевтические схемы и актуализирует задачу углубленного анализа причин их неэффективности. В качестве объяснения высоких показателей рецидивов можно выделить несколько причин: развитие бактериальной резистентности к обычно используемым антибактериальным препаратам, снижение их биодоступности из-за защитного эффекта невосприимчивых видов и/или наличие биопленки при БВ, которая затрудняет искоренение инфекции [12]. Биопленка, согласно современным представлениям, играет ключевую роль в патогенезе бактериального вагиноза и рассматривается как одна из основных причин неудач лечения и развития обострений [14,15]. С «биопленочными» формами бактериального вагиноза сталкивается, по данным литературы, до 90 % пациенток с рецидивирующим бактериальным вагинозом [1], что согласуется с полученными в настоящем исследовании результатами: у 62,1% пациенток удалось верифицировать биопленки.

По данным отечественных клинических рекомендаций, а также согласованному с ВОЗ руководству Международного союза по борьбе с инфекциями, передаваемыми половым путем (IUSTI) метронидазол остается «золотым стандартом» в лечении бактериального вагиноза с наивысшим из всех возможных уровнем доказательности (IA), эффективность которого по разным данным колеблется от 46 до 96 % [5]. В нашей работе эффективность монотерапии метронидазолом, в том числе частичная нормализация микробиома, достигнута в 60,3 % наблюдений, что может быть связано с выявленным более чем в половине случаев «биопленочным» бактериальным вагинозом, так как именно при этой форме синдрома успех терапии наступает значительно реже. Таким образом, правомерно сказать о значительной роли биопленки в снижении эффективности терапии за счет замедления диффузии антимикробного препарата, неспособности достичь клеток-мишеней в глубоких слоях биопленки, снижения метаболической активности клеток, а также наличия устойчивости бактерий в биопленке [12, 16].

По результатам проведенного исследования, у части пациенток после окончания курса монотерапии метронидазолом трансмиссионная электронная микроскопия определяла присутствие биопленок, несмотря на абсолютный нормоценоз по результатам ПЦР-РВ, что согласуется с данными других исследователей. Так, например, А. Свидзински с соавт. установили, что биопленка может быть временно подавлена во время лечения метронидазолом, однако после окончания курса способна восстанавливать свою целостность [14]. Таким образом, данная группа женщин входит в группу риска по развитию рецидива бактериального вагиноза.

Кроме того, в нашей работе не отмечена эффективность терапии у 13,6 % пациенток с «небиопленочным» бактериальным вагинозом, а у 9 % женщин той же группы (группа II) повышение доли лактобактерий было не-

полным и не достигло целевого уровня (Lactobacillus spp. >80 %). Нельзя не учитывать возможное снижения чувствительности бактерий к действующему препарату, учитывая повсеместный рост антибиотикорезистентности [17]. Так, например, согласно данным исследования, известно, что изоляты Gardnerella устойчивы к метронидазолу в 59,8 % случаях [18].

Заключение

Проведенное исследование не отрицает эффективность метронидазола в лечении бактериального вагиноза, однако наглядно демонстрирует его слабые стороны особенно в отношении «биопленочных» форм бактериального вагиноза.

Применение трансмиссионной электронной микроскопии позволяет произвести достоверное выявление биопленок у пациенток с рецидивирующими и рефрактерными к лечению формами бактериального вагиноза.

Принимая во внимание тенденцию к росту резистентности бактерий к противомикробным препаратам, формирование микроорганизмами биопленок как эффективной стратегии выживания, а также возможность сочетания этих двух факторов, необходимы дальнейшие исследования в этой области и внедрение новых, альтернативных, действенных лекарственных препаратов в рутинную практику, чтобы обеспечить пациентам надежду на долгосрочное излечение и повысить качество оказания медицинской помощи данной категории больных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новикова С.В., Цивцивадзе Е.Б., Федотова А.В. Бактериальный вагиноз как типичная биопленочная инфекция. Российский вестник акушера-гинеколога 2018; (4): 97–100.
2. Sobel J.D. Biofilm in Bacterial Vaginosis: A Legitimate Therapeutic Challenge? J. Infect Dis. 2025; 231(1): 40-43. DOI: 10.1093/infdis/jiae135. PMID: 38680028.
3. Gao M., Manos J., Whiteley G., et al. Antibiofilm Agents for the Treatment and Prevention of Bacterial Vaginosis: A Systematic Narrative Review. J. Infect Dis. 2024; 230(3): e508–e517. doi: 10.1093/infdis/jiae134.
4. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Клинические рекомендации «Бактериальный вагиноз». https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/206_2 (дата обращения: 06.05.2025)
5. Muñoz-Barreno A., Cabezas-Mera F., Tejera E., et al. Comparative Effectiveness of Treatments for Bacterial Vaginosis: A Network Meta-Analysis. Antibiotics (Basel) 2021; 10(8): 978. DOI: 10.3390/antibiotics10080978.
6. Raba G., Durkech A., Malík T., et al. Efficacy of Dequalinium Chloride vs Metronidazole for the Treatment of Bacterial Vaginosis: A Randomized Clinical Trial. JAMA Netw Open. 2024; 7(5): e248661. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2024.8661.
7. Брагина Е.Е, Спивак ЛГ, Газимиев МА, Евдокимов МС, Мхитарян ОА. Воздействие бовгиалуронидазы азоксимера на бактериальные биопленки в эякуляте пациентов с хроническим простатитом. Экспериментальная и клиническая урология. 2023;16(3): 8792.
8. Lichtenberg M., Coenye T., Parsek M.R., Bjarnsholt T., Jakobsen T.H. What's in a name? Characteristics of clinical biofilms. FEMS Microbiol Rev. 2023; 47(5): fuad050. DOI: 10.1093/femsre/fuad050. PMID: 37656883; PMCID: PMC10503651.
9. Россоловская К.А., Трифонова Н.С., Гадаева И.В., Спивак Л.Г. Биопленки бактериального вагиноза — мишень для терапевтического новаторства. Архив акушерства и гинекологии им. В.Ф. Снегирева. 2024;11(4):406415.
10. Chowdhury D., Rahman A., Hu H., Jensen S.O., Deva A.K., Vickery K. Effect of disinfectant formulation and organic soil on the efficacy of oxidizing disinfectants against biofilms. J. Hosp Infect. 2019 Sep;103(1): e33–e41. doi: 10.1016/j.jhin.2018.10.019. Epub 2018 Oct 26. PMID: 30391488.
11. Rather M.A., Gupta K., Mandal M. Microbial biofilm: formation, architecture, antibiotic resistance, and control strategies. Braz J Microbiol. 2021 Dec;52(4):1701–1718. doi: 10.1007/s42770-021-00624-x. Epub 2021 Sep 23. PMID: 34558029; PMCID: PMC8578483.
12. Sousa L.G.V, Pereira S.A., Cerca N. Fighting polymicrobial biofilms in bacterial vaginosis. Microb Biotechnol. 2023 Jul;16(7):1423-1437. doi: 10.1111/1751-7915.14261. Epub 2023 Apr 12. PMID: 37042412; PMCID: PMC10281382.
13. Chacra L.A, Fenollar F., Diop K. Bacterial vaginosis: what do we currently know? Front Cell Infect Microbiol 2021; 11:672429.
14. Swidsinski A., Mendling W., Loening-Baucke V., Swidsinski S., Doerffel Y., Scholze J., et al. (2008). An adherent Gardnerella vaginalis biofilm persists on the vaginal epithelium after standard therapy with oral metronidazole. Am. J. Obstet. Gynecol. 198 (1), 1–6. 10.1016/j.ajog.2007.06.039
15. Verstraelen H., Swidsinski A. (2019). The biofilm in bacterial vaginosis: implications for epidemiology, diagnosis, and treatment: 2018 update. Curr. Opin. Infect. Dis. 32 (1), 38–42. 10.1097/QCO.0000000000000516
16. Schuyler J.A., Mordechai E., Adelson M.E., Sobel J.D., Gygax S.E., Hilbert DW. Identification of intrinsically metronidazole-resistant clades of Gardnerella vaginalis. Diagn Microbiol Infect Dis. 2016 Jan;84(1):1–3. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2015.10.006. Epub 2015 Oct 8. PMID: 26514076.
17. Joseph R.J., Ser H.L., Kuai Y.H., et al. Finding a balance in the vaginal microbiome: how do we treat and prevent the occurrence of bacterial vaginosis? Antibiotics 2021; 10:15.
18. Knupp de Souza D.M., Diniz C.G., Filho D.S., Andrade de Oliveira L.M., Coelho D.M., Talha L.S., Nascimento T.C., Ferreira-Machado A.B., Silva V.L. Antimicrobial susceptibility and vaginolysin in Gardnerella vaginalis from healthy and bacterial vaginosis diagnosed women. J. Infect Dev Ctries. 2016 Sep 30;10(9):913–919. doi: 10.3855/jidc.7161. PMID: 27694723.

© Россоловская Ксения Антоновна (dr.rossolovskaya@yandex.ru); Трифонова Наталья Сяитовна (trifonova.nataly@mail.ru);
Брагина Елизавета Ефимовна (bragor@mail.ru); Гадаева Ирина Викторовна (gadaeva-gin@gmail.com);
Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru); Спивак Леонид Григорьевич (leonid.spivak@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.40

СНИЖЕНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ МИОКАРДА — РАННИЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПРИЗНАК ДИСФУНКЦИИ ЖЕЛУДОЧКОВ ПРИ СЛОЖНОМ ВРОЖДЕННОМ ПОРОКЕ СЕРДЦА (СИНДРОМ BERRY). ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

REDUCED GLOBAL LONGITUDINAL STRAIN IS AN EARLY DIAGNSTICAL SIGN OF VENTRICULAR DYSFUNCTION IN COMPLEX CONGENITAL HEART DEVICE (BERRY SYNDROME). DESCRIPTION OF A CLINICAL CASE

V. Sakovich
D. Drobot
M. Gankin

Summary. According to 2-D echocardiography, the child with Berry syndrome had no signs of dilation or hypoplasia of the heart chambers, no signs of their dysfunction (LVEF 67 %, RV FI 35 %). However, a decrease in the longitudinal deformation of the ventricular myocardium was detected (GLS LV-15, GLS RV-18). The child underwent urgent radical surgery: Formation of an anastomosis between the ascending and descending aorta. Closure of the aortopulmonary window with an Ecoflon patch. Ligation of the patent ductus arteriosus. Suturing of the atrial septal defect. The postoperative period was uneventful. The child was transferred from the intensive care unit on the 2nd day, discharged from the hospital on the 9th day after the surgery in a satisfactory condition, without signs of heart failure. 2D echocardiography parameters and ventricular longitudinal deformation parameters corresponded to the normative ones (LVEF 66 %, RV EF 44 %, LV GLS-21, RV GLS-22).

Keywords: aortopulmonary window, aortopulmonary septal defect, aortic arch rupture, open ductus arteriosus with retrograde blood discharge, global longitudinal strain.

Сакович Виталий Валерьевич
врач функциональной диагностики, ФГБУЗ Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии, г. Красноярск; ФГБОУВО Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого
kovichvitaly@gmail.com
Дробот Дмитрий Борисович
Доктор медицинских наук, профессор, ФГБУЗ Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии, г. Красноярск; ФГБОУВО Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск
Ганкин Марк Исакович
кандидат медицинских наук, ФГБУЗ Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии, г. Красноярск

Аннотация. У ребенка с синдромом Berry по данным 2-D ЭХОКГ отсутствовали признаки дилатации или гипоплазии полостей сердца, отсутствовали признаки их дисфункции (ФВ ЛЖ 67 %, ФИ S ПЖ 35 %). Но было обнаружено снижение продольной деформации миокарда желудочков (GLS LV-15, GLS RV-18). Ребенку была выполнена срочная радикальная операция: Формирование анастомоза между восходящей и нисходящей аортой. Закрытие аортолегочного окна заплатой «Экофлон». Лигирование открытого артериального протока. Ушивание дефекта межпредсердной перегородки. Послеоперационный период протекал без осложнений. Ребенок переведён из палаты реанимации на 2-е сутки, выписан из стационара на 9-е сутки после операции в удовлетворительном состоянии, без признаков СН. Показатели 2D ЭХОКГ и показатели продольной деформации желудочков соответствовали нормативным (ФВ ЛЖ 66 %, ФИ S ПЖ 44 %, GLS LV-21, GLS RV-22).

Ключевые слова: аортолегочное окно, дефект аортолегочной перегородки, перерыв дуги аорты, открытый артериальный проток с ретроградным сбросом крови, глобальная продольная деформация миокарда.

Вступление

Перерыв дуги аорты — порок развития аорты, при котором имеет место полный перерыв сосуда, при этом дистальные участки кровоснабжаются за счет коммуникаций (открытый артериальный проток) или коллатералей. Перерыв дуги аорты — достаточно редкий врожденный порок сердца, часто сочетается с дефектом межжелудочковой перегородки и открытым артериальным протоком. Чаще всего это ведет к перегрузке правого желудочка [14]. До закрытия артериального протока клиническая симптоматика порока может не определяться. Порок манифестирует при закрытии артериального протока тяжелой сердечной недостаточностью (тахипноэ, тахикардия, отказ от еды, летаргия). [15,16]

Дефект аортолегочной перегородки (ДАЛП) — врожденный порок сердца (ВПС), характеризующийся нали-

чием сообщения (окна) между прилегающими частями восходящей аорты и легочным стволом при наличии двух раздельно сформированных полулунных клапанов. Синонимы: аортолегочное окно, аортолегочная фистула, фенестрация или септальный дефект, аортико-легочное окно, фистула, фенестрация или септальный дефект. Аортолегочное окно чаще ведет к дилатации полости ЛЖ (по принципу гемодинамики значимого ОАП) [17]. Изменения со стороны ПЖ выражаются в его концентрической гипертрофии, поскольку нагрузка на миокард ПЖ происходит за счет работы в условиях повышенного давления. Объемная перегрузка ПЖ отсутствует, т.к. патологический сброс крови из Ао в ЛА происходит выше. Однако, со стороны ЛЖ имеется и объемная перегрузка, поскольку постоянный сброс крови в МКК приводит к дилатации первого. В части случаев это может приводить к развитию сердечной недостаточности уже в раннем возрасте [18].

Цель исследования — демонстрация снижения показателей продольной деформации миокарда желудочков сердца — как ранний признак дисфункции миокарда у новорожденного ребенка со сложным врожденным пороком сердца (синдром Berry), с нормализацией этих параметров в раннем послеоперационном периоде после радикальной хирургической коррекции порока.

Этический аспект

Информированное согласие родителей ребенка на публикацию истории его болезни получено.

Описание случая

26.11.2023 года в детский приемный покой ФГБУЗ ФЦ ССХ г. Красноярск бригадой РКЦ был доставлен мальчик О. 4-х дней из перинатального центра г. Кызыла в тяжелом состоянии, на ИВЛ. Ребенок от 5 беременности, 5 родов в 40 нед. Вес при рождении 3430 гр, рост 50 см, оценка по шкале Апгар 7/10 баллов.

На 4-е сутки после рождения отмечены вялость, одышка, десатурация до 80 %. Ребенок переведен на ИВЛ. Выполнено ЭХОКГ, заподозрены: коарктация аорты? двойная дуга аорты? ООО. Начата непрерывная инфузия вазапростана. На момент поступления вес ребенка 3,25 кг, рост 50 см.

На проведенной в условиях специализированного центра трансторакальной эхокардиографии был диагностирован синдром Berry: перерыв дуги аорты, что, в типичном случае, должно было бы привести к гипоплазии ЛЖ с гипертрофией его стенок. Также было обнаружено гемодинамически-значимое аортолегочное окно со сбросом крови в ЛА (без сопутствующих ВПС аортолегочное окно ведет к дилатации ЛЖ). Таким образом, ЛЖ не испытывал затруднений при систолическом опорожнении, так как, встречая препятствие в области перерыва аорты, весь объем крови устремлялся через аортолегочное окно в ЛА (этим объясняется отсутствие гипертрофии миокарда ЛЖ), предварительно полноценно заполняясь в диастолу (что исключало его гипоплазию). Гемодинамически-значимый открытый артериальный проток со сбросом крови в нисходящую аорту в обход отсутствующего сегмента аорты (что являлось витальной фетальной коммуникацией) не приводил к дилатации ЛЖ (как при типичном течении большого ОАП), а лишь дополнительно компенсировал возможную гиповолемию ЛЖ. вторичный дефект межпредсердной перегородки, недостаточность трикуспидального клапана 2 степени, высокая легочная гипертензия (СДЛА 92 мм.рт.ст.).

Диагноз был подтвержден результатами компьютерной томографии. Стандартные ЭХОКГ-параметры указывали на отсутствие дисфункции желудочков сердца (ФВ ЛЖ 67 %, ФИ S ПЖ 35 %). Однако при определении продольной деформации желудочков было обнаружено снижение этих параметров. GLS LV-17 — вероятная перегрузка ЛЖ за счет аорто-легочного окна. GLS RV-15 — вероятная перегрузка ПЖ за счет перерыва дуги аорты с открытым артериальным протоком. Показатели продольной деформации предсердий не отклонялись от нормативных значений (GLS LA 20, GLS RA 23) — вероятно, это говорило об отсутствии повышенных преднагрузок на желудочки. Ребенку была выполнена срочная радикальная операция: в условиях ИК с использованием кровяной антеградной кардиоплегии и АПГМ сформирован анастомоз между дугой и нисходящей аортой. После ревизии АоК и правой ЛА закрыто аортолегочное окно заплатой «Экофлон». Лигирован открытый артериальный проток. Ушит дефект межпредсердной перегородки. Сердечная деятельность восстановилась самостоятельно через правильный сердечный ритм. Послеоперационный период протекал без осложнений. Ребенок переведён из палаты реанимации на 2-е сутки, выписан из стационара на 9-ые сутки после операции в удовлетворительном состоянии, без признаков СН. Показатели 2D ЭХОКГ и показатели продольной деформации желудочков соответствовали нормативным (ФВ ЛЖ 66 %, ФИ S ПЖ 44 %, GLS LV-21, GLS RV-22)

Дискуссия

Перерыв дуги аорты с открытым артериальным протоком чаще всего ведет к дилатации правых отделов сердца [1].

Гемодинамически-значимое аортолегочное окно чаще всего ведет к дилатации левых отделов сердца [2].

В данном случае прежде всего были констатированы нормальные размеры полостей сердца.

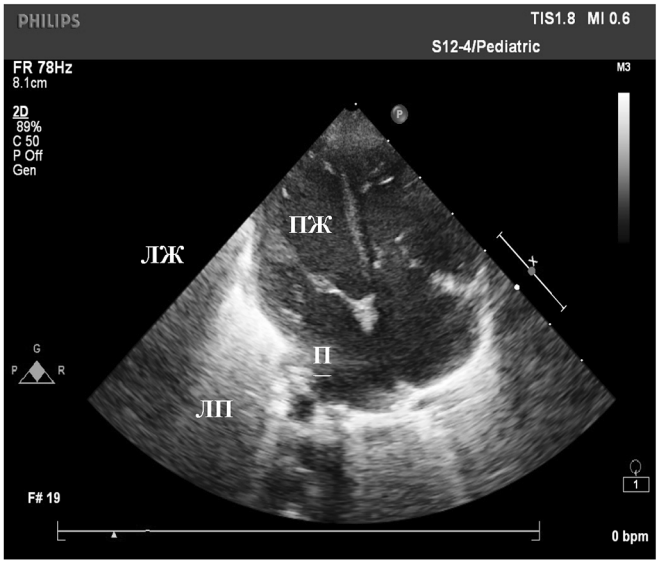


Рис. 1. 2-D ЭХОКГ. 4-камерная позиция. Полости сердца не увеличены

Перерыв дуги аорты препятствовал заполнению нисходящей аорты из левого желудочка. Но большое аорто-легочное окно позволяло беспрепятственно опорожняться левому желудочку в легочную артерию. Нисходящая аорта заполнялась из открытого артериального протока с ретроградным сбросом крови. Аортолегочное окно приводило к значимой гиперволемии малого круга кровообращения, результатом чего были высокая легочная гипертензия с СДЛА 92 мм.рт.ст. и недостаточность ТК 2 степ.

Заключение

Представлено интересное сочетание двух тяжелых редких врожденных пороков сердца, которые в изолированном состоянии приводят к перегрузки различных отделов сердца (перерыв дуги аорты с ОАП с ретроградным сбросом крови обычно приводит к перегрузке правого желудочка, а гемодинамически-значимое аортолегочное окно — обычно, к перегрузке левого желудочка). При их сочетании нормальные размеры камер сердца маскируют значимую сочетанную перегрузку правого и левого желудочков. Использование стандартных ЭХОКГ-параметров (ФВ ЛЖ, ФИ S ПЖ) не позволило обнаружить признаки дисфункции желудочков сердца. Однако было обнаружено снижение продольной деформации левого желудочка (вероятно, вызванное перегрузкой ЛЖ за счет аортолегочного окна) и снижение продольной деформации правого желудочка (вероятно, обусловленное перегрузкой ПЖ за счет перерыва дуги аорты с открытым артериальным протоком). Показатели

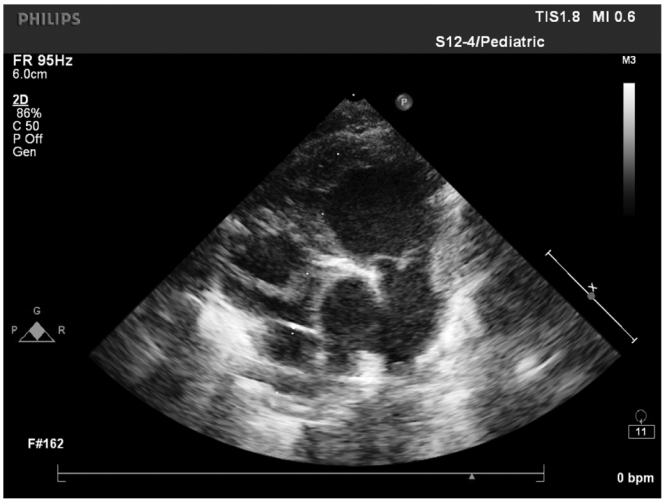


Рис. 2. 2-D ЭХОКГ. Аорта по короткой оси. Дефект аорто-легочной перегородки — аорто-легочное окно



Рис. 3. КТ. Дефект аортолегочной перегородки IV тип



Рис. 4. КТ. Дефект аортолегочной перегородки IV тип

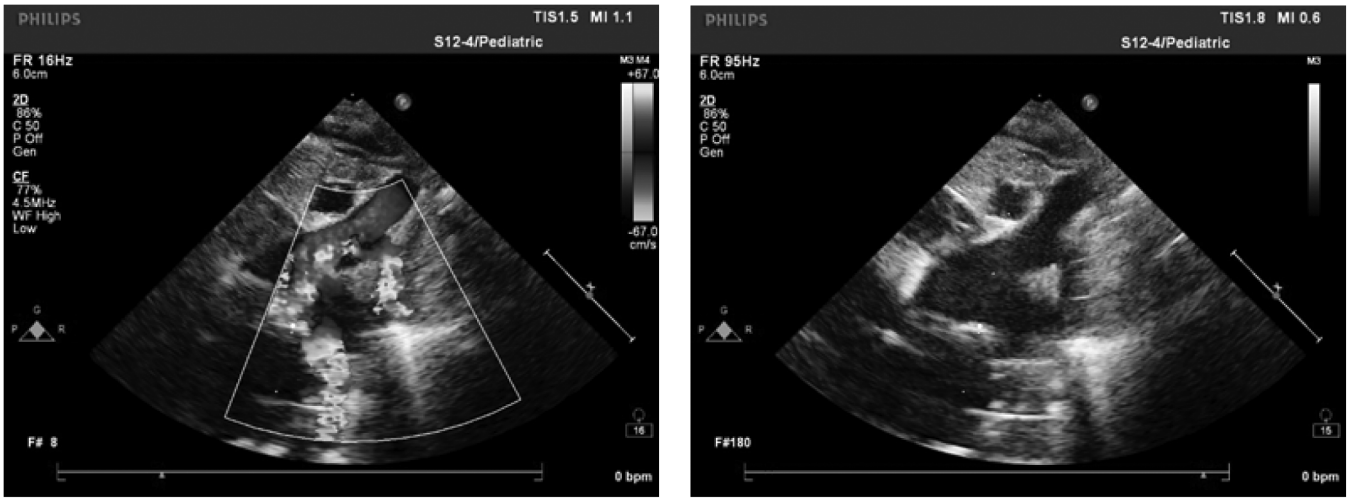


Рис. 5. 2-D ЭХОКГ. Восходящая, дуга и нисходящая аорта в В-режиме и в режиме ЦДК — перерыв дуги аорты с заполнением нисходящей аорты из открытого артериального протока



Рис. 6. 3-D реконструкция МСКТ. Перерыв дуги аорты, тип А. ОАП



Рис. 7. 3-D реконструкция МСКТ. Дефект аортолегочной перегородки IV тип. Перерыв дуги аорты, тип А. ОАП. ДМПП вторичный центральный.

продольной деформации предсердий не отклонялись от нормативных значений (GLS LA 20, GLS RA 23)— вероятно, это говорило об отсутствии повышенных предзагрузок на желудочки. После выполнения срочной радикальной операции в раннем послеоперационном периоде были обнаружены нормализация показателей продольной деформации желудочков после ликвидации перегрузок соответствующих отделов сердца. Таким образом, считаем целесообразным применение дополнительных диагностических методик для более корректной функциональной оценки сердца у пациентов с редкими сложными пороками сердца.

Авторы выражают благодарность и признательность Зеленикину Михаилу Михайловичу д.м.н. проф. заведующему отделением хирургии детей раннего возраста с врожденными пороками сердца Института кардиохирургии НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева, Минаеву Антону Владимировичу д.м.н. врачу сердечно-сосудистому хирургу старшему научному сотруднику отдела хирургии детей старшего возраста с ВПС (после 3 лет) за консультативную помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vidya Sagar Akula, Rajasekhar Durgaprasad, Vanajakshamma Velam, Latheef Kasala, Madhavi Rodda, Harsha Vardhan Erathi. Right ventricle before and after atrial septal defect device closure. Echocardiography. 33(9): 1381–8 (2016) https://doi.org/10.1111/echo.13250
2. Ozturk O., Ozturk U., Zilkif M. Assessment of right ventricle function with speckle tracking echocardiography after the percutaneous closure of atrial septal defect. Acta Cardiol Sin. 33(5): 523-9 (2017). https://doi.org/10.1016/j.repc.2017.06.013
3. Lawrence G. Rudski, Wyman W. Lai, Jonathan Afilalo, Lanqi Hua, Mark D. Handschumacher, Krishnaswamy Chandrasekaran, Scott D. Solomon, Eric K. Louie, Nelson B. SchillerI. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography // J. Am. Soc. Echocardiogr. 2010. Vol. 23. P. 685–713. https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.05.010
4. Authors: Gruschen R. Veldtman, Vanessa Razack, Samuel Siu, Hassan El-Hajj, Fiona Walker, Gary D. Webb, Leland N. Benson, Peter R. McLaughlin. Right ventricular form and function after percutaneous atrial septal defect device closure. J. Am Coll Cardiol. 37(8): 2108–13 (2001). https://doi.org/10.1016/s0735-1097(01)01305-5
5. Jategaonkar S.R., Scholtz W., Butz T., et al. Two-dimensional strain and strain rate imaging of the right ventricle in adult patients before and after percutaneous closure of atrial septal defects. Eur J. Echocardiogr. 10(4): 499–502 (2009). 11. Hong Ki Ko, Jeong Jin Yu, Eun Kyung Cho, So Yeon Kang, Chang Deok Seo, Jae Suk Baek, Young-Hwue Kim, Jae-Kon Ko. Segmental analysis of right ventricular longitudinal deformation in children before and after percutaneous closure of atrial septal defect. J. Cardiovasc Ultrasound. 22(4): 182–8 (2014). https://doi.org/10.1093/ejechocard/jen315
6. Синельников Ю.С., Орехова Е.Н., Матановская Т.В. Продольная механика и функция левого предсердия у детей раннего возраста после транскатетерной коррекции вторичного дефекта межпредсердной перегородки Научно-практический журнал МЕДИЦИНСКИЙ ВЕСТНИК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА 2019. Т. 14. No 4 С. 640–645 https://doi.org/10.14300/mnnc.2019.14159
7. Hala M Agha, Islam S Mohammed, Hassan A Hassan, Hassan S Abu Seif, Ibrahim M Abu Farag. Left and right ventricular speckle tracking study before and after percutaneous atrial septal defect closure in children. J Saudi Heart Assoc. 32(1): 71–8 (2020). https://doi.org/10.37616/2212-5043.1012
8. Claudio Bussadori, Pedro Oliveira, Carmelo Arcidiacono, Antonio Saracino, Elisa Nicolosi, Diana Negura, et al. Right and left ventricular strain and strain rate in young adults before and after percutaneous atrial septal defect closure. Echocardiography. 28(7): 730–7 (2011). https://doi.org/10.1111/j.1540-8175.2011.01434.x

9. Qiuqin Xu, Ling Sun, Wanping Zhou, Yunjia Tang, Yueyue Ding, Jie Huang, et al. Evaluation of right ventricular myocardial strains by speckle tracking echocardiography after percutaneous device closure of atrial septal defects in children. Echocardiography. 35(8): 1183–8 (2018). https://doi.org/10.1111/echo.14006
10. Probst F.J., James R., Burrage L. De novo deletions and duplications of 17q25.3 cause susceptibility to cardiovascular malformations. Orphanet Journal of Rare Disease. 2015;14(10):75. DOI: 10.1186/s13023-015-0291-0
11. Оганов Р.Г., Шальнова С.А., Калинина А.М. Профилактика сердечно-сосудистых заболеваний: руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2009. 216 с.
12. Wen-jing Bi, Yang-jie Xiao, Yue-jia Liu, Yang Hou, Wei-dong Ren. Berry syndrome: a case report and literature review. BMC Cardiovasc Disord 21, 15 (2021) https://doi.org/10.1186/s12872-020-01837-y
13. Cantinotti M., Scalese M., Giordano R., Franchi E., Assanta N., Molinaro S., Iervasi G., Santoro G., Koestenberger M., Kutty S. Left and Right Atrial Strain in Healthy Caucasian Children by Two Dimensional SpeckleTracking Echocardiography. J. Am Soc Echocardiogr 2019; 32 (1): 165–168. PMID: 30459121. DOI: 10.1016/j.echo.2018.10.002
14. Ассоциация сердечно-сосудистых хирургов России. Всероссийская общественная организация «Ассоциация детских кардиологов России». Общероссийская общественная организация содействия развитию лучевой диагностики и терапии «Российское общество рентгенологов и радиологов». Российское научное общество специалистов по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению. Одобрено Научно-практическим Советом Минздрава РФ. Клинические рекомендации — Коарктация аорты — 2023-2024-2025 (02.03.2023) — Утверждены Минздравом РФ
15. Козлов Б.Н., Панфилов Д.С., Саушкин В.В. Реконструктивная хирургия перерыва дуги аорты у взрослых. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2016 №5.
16. Калашников С.В., Степаничева О.А., Беришвили Д.О. Описание этапной коррекции перерыва дуги аорты типа А в сочетании с гипоплазией левых отделов сердца. Детские болезни сердца и сосудов. 2016 №4. с. 238–242.
17. Lee B. Beerman, MD. Children's Hospital of Pittsburgh of the University of Pittsburgh School of Medicine 2023
18. Ассоциация сердечно-сосудистых хирургов России. Всероссийская общественная организация «Ассоциация детских кардиологов России». Одобрено Научно-практическим Советом Минздрава РФ. Клинические рекомендации — Дефект аортолегочной перегородки — 2022-2023-2024 (18.03.2022) — Утверждены Минздравом РФ.

© Сакович Виталий Валерьевич (kovichvitaly@gmail.com); Дробот Дмитрий Борисович; Ганкин Марк Исакович
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.47

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА СТИМУЛЯЦИИ СПАЕЧНОГО ПРОЦЕССА В ПЛЕВРАЛЬНОЙ ПОЛОСТИ У ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF STIMULATION OF ADHESIONS IN THE PLEURAL CAVITY IN LABORATORY ANIMALS

A. Khmara
S. Kapralov
M. Polidanov
D. Bazarov
K. Volkov
R. Petrunkin

Summary. *The aim of the study* is experimental substantiation of the method of stimulation of adhesion process in the pleural cavity in laboratory animals. *Materials and methods*. The studies were carried out on 80 female laboratory rats of «standard» breed weighing 200±50 g. All experimental animals were divided into two groups: 40 rats in each group. The first group included experimental animals, which underwent pleurodesis, acting only on the parietal sheet of pleura. The second group included experimental animals that underwent pleurodesis of visceral and parietal pleural sheets. General anesthesia of laboratory animals was performed according to the standard technique. Under aseptic conditions a thoracotomy was performed through 5–6 intercostal spaces from periorbital to midclavicular line. Atypical lung resection was performed. Further, the healthy (unchanged) lung area was exposed to the solid-state laser radiation (laser device Lasermed 1–10 (Russia), near-infrared range) with a wavelength of 1064 nm, power 7–8 W (the optimal power of 7–8 W was selected experimentally; up to 6 W hemostasis is not ensured, over 10 W — excessive destruction occurs). Exposure to pleural sheets was carried out with the help of quartz light guide by non-contact method, but not more than 2 cm from pleura and visual assessment of the appearance of signs of coagulation. At direct contact with pleura its destruction occurs, and more than 2 cm — there will be no coagulation, this is due to the power density of the laser beam. Exposure was carried out under visual control and stopped when signs of coagulation appeared. After that the chest wall wound was sutured. *Results*. Due to this method in the experimental animals of the second group in comparison with the first group there was an earlier, more pronounced, and voluminous adhesion process, which was confirmed by the results of histological study. *Conclusions*. Thus, the morphologic study confirmed that adhesion of visceral and parietal pleural sheets was achieved in the animals of the first group.

Keywords: bullous emphysema, minimally invasive thoracoscopic surgeries, stimulation of adhesion process, laser surgery.

Хмара Артём Дмитриевич
кандидат медицинских наук, врач-хирург, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского
premdania@yandex.ru
Капралов Сергей Владимирович
доктор медицинских наук, доцент, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского
sergejkapralov@yandex.ru
Полиданов Максим Андреевич
Советник Российской Академии Естествознания (РАЕ), специалист научно-исследовательского отдела, Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru
Базаров Дмитрий Владимирович
доктор медицинских наук, Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского, г. Москва
Волков Кирилл Андреевич
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского»
kvolee@yandex.ru
Петрунькин Родион Павлович
Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
rodyj16@mail.ru

Аннотация. *Цель исследования* — экспериментальное обоснование способа стимуляции спаечного процесса в плевральной полости у лабораторных животных. *Материалы и методы*. Исследования проводились на 80 лабораторных крысах-самках породы «стандарт» массой 200±50 г. Все экспериментальные животные были разделены на две группы: по 40 крыс в каждой. В первую группу входили экспериментальные животные, которым осуществляли плевродез, воздействуя только на париетальный листок плевры. Во вторую группу входили экспериментальные животные, которым осуществляли плевродез висцерального и париетального листков плевры. По стандартной методике проводили общую анестезию лабораторных животных. В асептических условиях выполняли торакотомию через 5–6 межреберья от околопозвоночной до среднеключичной линии. Выполняли атипичную резекцию легкого. В дальнейшем на место резекции и здоровую (неизменную) область легких воздействовали излучением твердотельного лазера (лазерный аппарат Lasermed 1–10 (Россия), ближнего инфракрасного диапазона) длиной волны 1064 нм, мощностью 7–8 Вт (экспериментально подобрана оптимальная мощность 7–8 Вт, до 6 Вт не обеспечивается гемостаз, свыше 10 Вт — происходит чрезмерное разрушение). Воздействие на плевральные листки проводили при помощи кварцевого световода бесконтактным способом, но не более 2 см от плевры и визуальной оценкой появления признаков коагуляции. При прямом контакте с плеврой происходит её деструкция, а более 2 см — не будет коагуляции, это связано с плотностью



мощности лазерного луча. Воздействие вели под визуальным контролем и прекращали при появлении признаков коагуляции. После чего зашивали рану грудной стенки. *Результаты*. Благодаря данному способу у экспериментальных животных второй группы по сравнению с первой группой наблюдался более ранний, выраженный и объемный спаечный процесс, что подтверждалось результатами гистологического исследования. *Выводы*. Таким образом, в ходе морфологического исследования было подтверждено, что у животных первой группы адгезия висцерального и париетального листков плевры достигнута.

Ключевые слова: буллезная эмфизема, миниинвазивные торакоскопические операции, стимуляция спаечного процесса, лазерная хирургия.

Введение

Эмфизема в течение длительного времени и по настоящий момент является одним из наиболее частых патологических процессов в легких. Частота встречаемости данной патологии составляет 0,5–5,7 % [1]. Различают буллезную болезнь легких и буллезную эмфизему. Наличие одной или нескольких булл, среди неизмененной легочной ткани, относят к буллезной болезни. Буллезную эмфизему легких характеризует формирование булл на фоне диффузной эмфиземы. Причинами появления и развития булл легкого могут служить: курение табака, марихуаны, недостаточность а1-антитрипсина, врожденные дефекты соединительной ткани, а также травмы легкого и перенесенные оперативные вмешательства. Проявления этого заболевания могут выражаться в одышке, тяжести в груди или отсутствовать. Осложнением заболевания может быть развитие пневмоторакса, что, в свою очередь, может вести к нагноению в плевральной полости с развитием эмпиемы плевры. Нередко проявляется кровохарканьем или кровотечением, а также, в редких случаях, малигнизацией. При формировании булл гигантского размера на первый план выходит прогрессирующая одышка [2, 3, 4]. Хирургическая коррекция патологии показана при наличии неконтролируемой медикаментозно и прогрессирующей одышки, появлении осложнений или наличии гигантских булл легкого.

Образование булл происходит ввиду дегенерации и атрофии межальвеолярных перегородок с последующим объединением альвеол, что в конечном итоге приводит к повреждению терминальных бронхиол [5]. Таким образом запускается процесс формирования панацинарной эмфиземы, а затем и буллезной эмфиземы. Чаще всего это происходит в верхних долях легких, при этом булла отграничивается от висцеральной плевры прослойкой легочной ткани.

Буллезная патология легких характеризуется различной степенью распространения, что позволяет классифицировать её на несколько типов.

Основные виды распределения булл в легочной ткани: солитарный тип характеризуется наличием одиночной буллы; фокальный тип определяется присутствием нескольких булл в пределах одной доли легкого; мультифокальный тип — охватывает несколько долей органа, но не все, а диффузный тип — затрагивает все доли легкого, при этом может наблюдаться преимущественное расположение булл в определенной доле [6, 7].

Особого внимания заслуживает онкологический аспект: буллезная патология является фактором риска развития злокачественных новообразований. Статистические данные показывают, что вероятность возникновения рака легкого в прилегающих к буллам тканях в четыре раза выше, чем в других областях органа.

В связи с этим, любые патологические изменения или уплотнения легочной ткани вблизи булл должны рассматриваться как потенциально опасные и служить поводом для углубленного обследования пациента с целью ранней диагностики онкологических заболеваний [8,9].

В современной медицинской практике наблюдается тревожная тенденция: значительно увеличилось количество пациентов с буллезной эмфиземой легких, осложненной спонтанным пневмотораксом. Особенно уязвимой группой являются люди активного трудоспособного возраста.

Статистика госпитализаций остается на высоком уровне: от 10 до 35 % случаев связаны с развитием спонтанного пневмоторакса. Это указывает на серьезность проблемы и необходимость принятия эффективных мер.

Данная патология представляет особую социальную значимость по нескольким причинам, таких как рост заболеваемости среди трудоспособного населения, сложности в определении оптимальной лечебной стратегии и необходимость разработки эффективных методов хирургического лечения.

В связи с этим возникает острая потребность в совершенствовании подходов к хирургическому лечению дан-

ного заболевания, что позволит улучшить результаты лечения и снизить риск рецидивов. Решение этой задачи требует комплексного подхода, включающего как разработку новых хирургических методик, совершенствование диагностических критериев, определение оптимальных показаний к оперативному вмешательству, так и внедрение инновационных технологий лечения [10].

Идиопатический (первичный) спонтанный пневмоторакс развивается у пациентов без явных признаков легочной патологии. Статистические данные показывают высокую корреляцию этого состояния с наличием субплевральных булл — в 76–100 % случаев выявляется данная патология.

Важно отметить, что диагностировать субплевральные буллы можно только с помощью современных методов исследования: компьютерной томографии органов грудной клетки (КТ ОГК) и торакоскопии. Это подчеркивает необходимость использования высокотехнологичных методов диагностики для своевременного выявления данной патологии. Без применения указанных методов исследования обнаружить субплевральные буллы практически невозможно, что может привести к задержке в постановке правильного диагноза и назначении адекватного лечения.

Таким образом, при подозрении на первичный спонтанный пневмоторакс обязательным этапом диагностики должна быть комплексная визуализация легких с помощью КТ ОГК или торакоскопии [11-14].

Выявление булл или блебов в легочной ткани является ключевым фактором в определении тактики лечения как первичного, так и рецидивирующего пневмоторакса. Даже при единичном случае заболевания наличие таких патологических образований служит достаточным основанием для рассмотрения вопроса о плановом хирургическом вмешательстве [15-17].

Однако существует важная диагностическая особенность: компьютерная томография органов грудной клетки (КТ ОГК), несмотря на свою высокую информативность, имеет определенные ограничения. Метод не всегда позволяет визуализировать патологические воздушные полости диаметром менее 1 сантиметра. Это создает определенные трудности в диагностике, так как мелкие буллы могут оставаться незамеченными при проведении КТ.

Таким образом, хотя КТ ОГК является золотым стандартом диагностики буллезной патологии, в некоторых случаях может потребоваться применение дополнительных методов исследования для выявления мелких патологических образований.

В последнее время ученых привлекают проблемы, связанные с возможностью и целесообразностью применения в клинической практике плевродеза, стимулированного с помощью физических, химических или биологических методов, при определённых видах патологии плевральной полости и при наличии противопоказаний к применению других, более агрессивных способов, включая хирургическое лечение [18–20]. Плевральные спайки представляют собой распространенное последствие различных патологических процессов в грудной клетке. Их формирование может быть вызвано: воспалительными заболеваниями легких, патологиями плевры различного генеза, травмами грудной клетки и перенесенными оперативными вмешательствами. Современная медицина активно исследует альтернативные методы лечения патологий плевральной полости, особенно когда традиционное хирургическое вмешательство противопоказано.

В современной торакальной хирургии активно исследуется альтернативный метод лечения патологий плевральной полости — плевродез. Этот метод представляет особый интерес в случаях, когда традиционное хирургическое лечение противопоказано или невозможно. Плевродез может быть выполнен различными способами: физическими методами, химическими воздействиями или использованием биологических препаратов.

Основными преимуществами данного метода являются — меньшая инвазивность по сравнению с традиционными операциями, возможность применения у пациентов с противопоказаниями к хирургическому лечению и перспективность при определенных видах патологии плевральной полости. Однако важно отметить, что метод находится на стадии активного исследования. Необходимы дальнейшие клинические испытания для определения четких показаний к применению и сравнения эффективности различных методов плевродеза [21-23].

Таким образом, плевродез представляет собой перспективное направление в лечении патологий плевральной полости, особенно у пациентов с ограничениями к традиционному хирургическому лечению [24-27]. Однако для широкого внедрения метода требуется проведение дополнительных исследований.

В связи с вышеперечисленным, *целью исследования* стало экспериментальное обоснование способа стимуляции спаечного процесса в плевральной полости у лабораторных животных.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на 80 лабораторных крысах-самках породы «стандарт» массой 200±50 г. Все манипуляции и содержание животных было регламентировано этической комиссией ФГБОУ ВО «Саратов-

ского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского» Министерства Здравоохранения Российской Федерации (протокол № 9, 15.09.2023). Условия содержания в виварии лабораторных животных регламентированы РД-АПК 3.10.07.02-09 «Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в виварiях научно-исследовательских институтов и учебных заведений», приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами» (актуализированным от 01.01.2021).

Все экспериментальные животные были разделены на две группы: по 40 крыс в каждой. В первую группу входили экспериментальные животные, которым осуществляли плевродез, воздействуя только на париетальный листок плевры. Во вторую группу входили экспериментальные животные, которым осуществляли плевродез висцерального и париетального листков плевры.

По стандартной методике проводили общую анестезию лабораторных животных. В асептических условиях выполняли торакотомию через 5–6 межреберья от околопозвоночной до среднеключичной линии. Выполняли атипичную резекцию легкого.

В дальнейшем на здоровую (неизмененную) область легких воздействовали излучением твердотельного лазера (лазерный аппарат Lasermed 1-10 (Россия), ближнего инфракрасного диапазона) длиной волны 1064 нм, мощностью 7–8 Вт (экспериментально подобрана оптимальная мощность 7–8 Вт, до 6 Вт не обеспечивается гемостаз, свыше 10 Вт — происходит чрезмерное разрушение). Воздействие на плевральные листки проводили при помощи кварцевого световода бесконтактным способом, но не более 2 см от плевры и визуальной оценкой появления признаков коагуляции. При прямом контакте с плеврой происходит её деструкция, а более 2 см — не будет коагуляции, это связано с плотностью мощности лазерного луча. Воздействие вели под визуальным контролем и прекращали при появлении признаков коагуляции. После чего зашивали рану грудной стенки.

Результаты и их обсуждение

Благодаря данному способу у экспериментальных животных второй группы по сравнению с первой группой наблюдался более ранний, выраженный и объемный спаечный процесс, что подтверждалось результатами гистологического исследования.

Макроскопически в плевральной полости лабораторных животных первой группы (осуществление плевродеза только на париетальный листок плевры) на левом легком определялись рыхлые спайки в области нижней доли размерами 1х0,2 см с участками кровоизлияний (фиг. 1). Ткань легкого воздушна. В плевральной полости лабораторного животных второй группы, которым оказывалось воздействие на висцеральный и париетальный листки плевры (фиг. 2), определялись рыхлые наложения волокнистой ткани на костальной плевре в виде узла 0,9х0,7 см с рыхлыми спайками, тянущимися к висцеральной плевре, висцеральная плевра на участке 1х1,5 см белесоватого цвета. Ткань легкого отечна.



Рис. 1. Результаты макроскопического исследования плевральной полости лабораторных животных первой группы

Микроскопически: на 14 день после проведения оперативного вмешательства в области воздействия на париетальный листок плевральной полости лабораторных животных первой группы определялось формирование рыхловолокнистой соединительной ткани с признаками отека (рисунок 3 А). В месте формирующейся спайки на висцеральном и париетальном листках плевры отмечалось умеренное формирование молодых волокон соединительной ткани, единичные мелкие кровоизлияния (рисунок 3 В, Д). В участке легкого, удаленном от оперативного вмешательства, наблюдалось полнокровие сосудов, очаговые утолщения межальвеолярных перегородок (рисунок 3 Ж).

В области воздействия на висцеральный и париетальный листки плевры лабораторных животных второй группы определялось формирование рыхловолокнистой соединительной ткани с обширным участком кровоизлияния, воспалительной мононуклеврной инфильтрацией (рисунок 4 Б, Г, Е). В участке легкого, удаленном от оперативного вмешательства — полнокровие сосудов, утолщения межальвеолярных перегородок, участ-

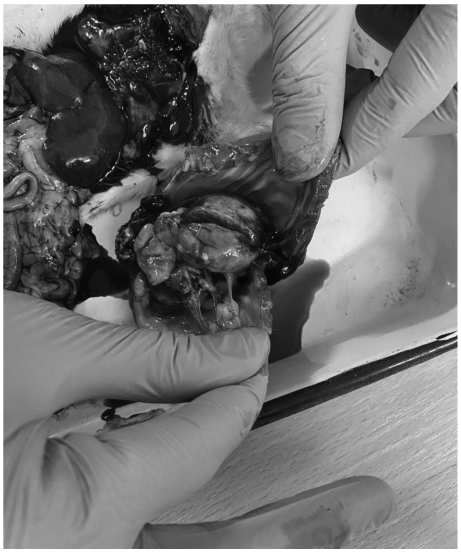


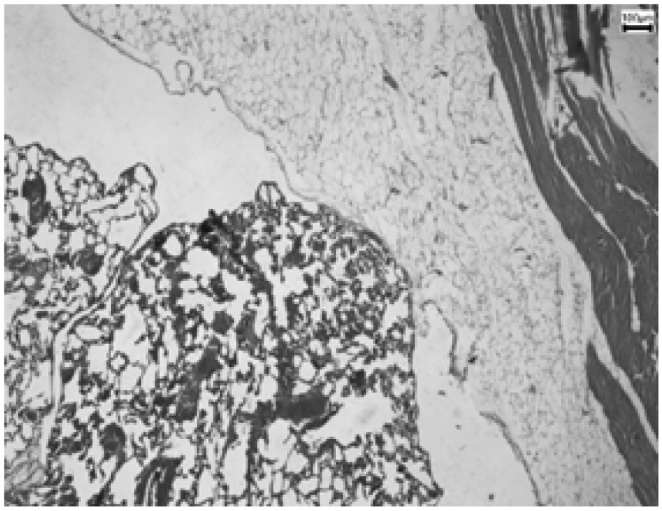
Рис. 2. Результаты макроскопического исследования плевральной полости лабораторных животных второй группы

ки ателектазов легкого, фокусы воспалительной мононуклеарной инфильтрации (рисунок 4 3).

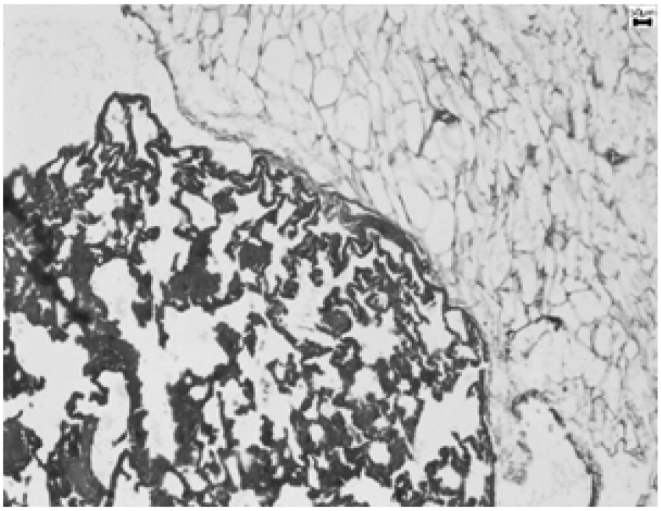
Заключение

Таким образом, в плевральных полостях обоих групп лабораторных животных отмечалось формирование рыхлых соединительнотканных спаек. Однако, по гистологическому исследованию препаратов первой группы можно констатировать, что адгезия висцерального и париетального листков плевры достигнута.

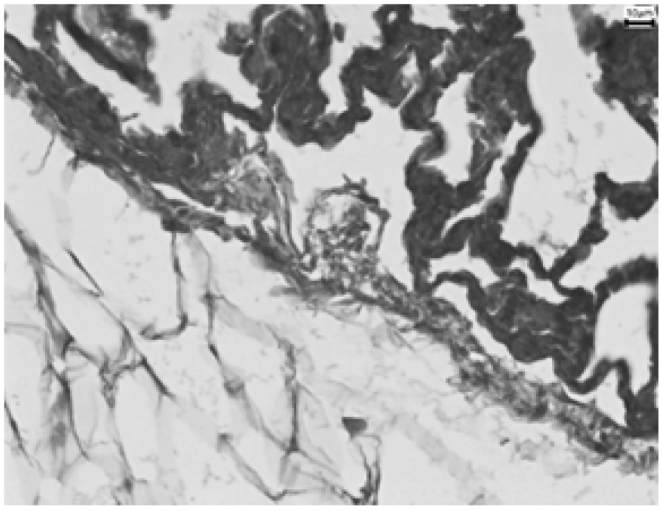
Стоит отметить, что в плевральной полости лабораторных животных второй группы воспалительный процесс более выражен и кроме плевральных листков в процесс вовлекается ткань самого легкого, за счет чего, вероятно, обеспечивается лучшая адгезия после завершения формирования грубоволокнистой соединительной ткани и достигается более плотное и более обширное склерозирование при воздействии на оба листка плевры.



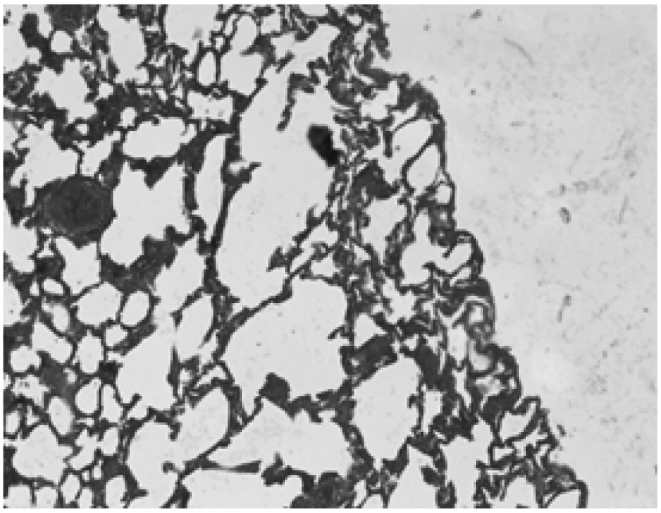
А



В

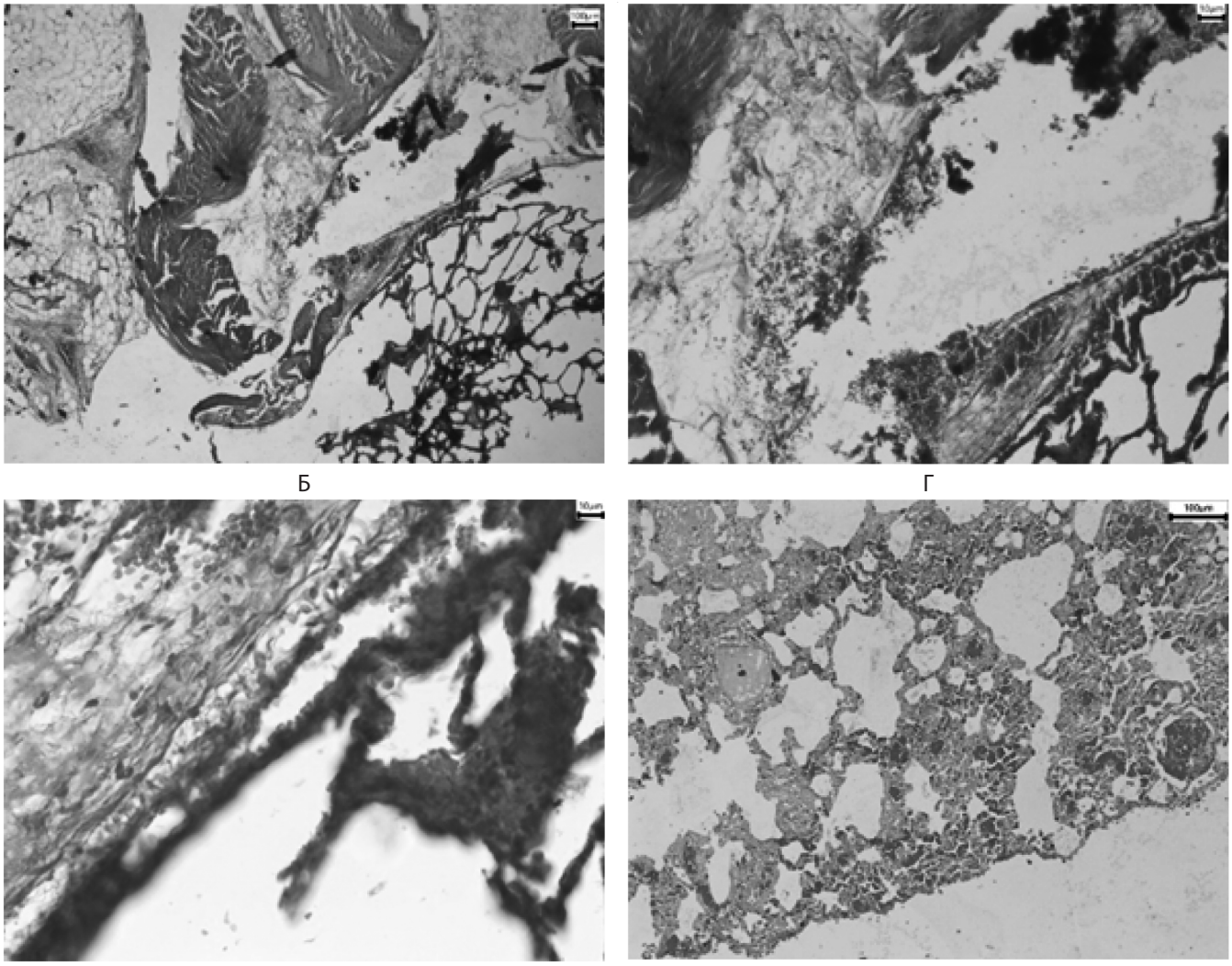


Д



Ж

Рис. 3. Результаты микроскопического исследования плевральной полости лабораторных животных первой группы



Б Г

Е З

Рис. 4. Результаты микроскопического исследования плевральной полости лабораторных животных второй группы

ЛИТЕРАТУРА

1. Клинические рекомендации «Эмфизема легких» (утв. Минздравом России, 2021 г.) 18.10.2021. Разработчик клинической рекомендации — Российское респираторное общество. Одобрено Научно-практическим Советом Минздрава РФ.
2. Бродская О.Н., Поливанов Г.Э. Буллезная эмфизема и буллезная болезнь легких. Практическая пульмонология. 2019; 1: 15–21.
3. Корымасов Е.А. и др. Национальные клинические рекомендации «Эмпиема плевры». М.: 2015; 33 с.
4. Базаров Д.В. Обоснование показаний и объема резекции при хирургическом уменьшении легкого у больных диффузной эмфиземой: диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Москва. 2007; 163 с.
5. Иванов С.В., Лазаренко В.А., Юдина С.М. и др. Цитоморфологические изменения в легких при моделировании буллузной эмфиземы в зависимости от стимуляции неоколлагеногенеза в эксперименте. Человек и его здоровье. 2019; 2.
6. Горбунков С.Д., Варламов В.В., Черный С.М. и др. Критерии хирургического риска у больных с диффузной эмфиземой лёгких с крупными или гигантскими буллами. Вестник хирургии 2016; 3.
7. Raoof S. et al. Cystic lung diseases: algorithmic approach. Chest. 2016; 150 (4): 945–965
8. Жестков К.Г., и др. Национальные клинические рекомендации по лечению спонтанного пневмоторакса. 2018; 22 с..03.2025).
9. Яблонский П.К. и др. Выбор лечебной тактики и возможности прогнозирования рецидивов у больных с первым эпизодом спонтанного пневмоторакса. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 11. Медицина. 2010; 1: 118–129.
10. Дробязгин Е.А. и др. Двухпортовые видеоторакоскопические операции при буллезной эмфиземе легких. Эндоскопическая хирургия. 2020; 26 (4): 22–27.
11. Корымасов Е.А. и др. Анализ ошибок, опасностей и осложнений в лечении спонтанного пневмоторакса. Тольяттинский медицинский консилиум. 2013; 3–4: 44–51.
12. Афендулов С.А., Мощин С.А. Современные способы лечения спонтанного пневмоторакса. Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009; 8 (1): 58–61.

13. Полянцев А.А. и др. Ошибки, опасности, осложнения при первом эпизоде спонтанного пневмоторакса. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2018; 3: 64–69.
14. Яблонский П.К. Протоколы оказания помощи пациентам со спонтанным пневмотораксом. СПб. 2013. — 42
15. Asano H. et al. Risk factors for recurrence of primary spontaneous pneumothorax after thoracoscopic surgery. J Thorac Dis. 2019; 11 (5): 1940–1944.
16. Bintcliffe O.J. et al. Lung Parenchymal Assessment in Primary and Secondary Pneumothorax. Annals of the American Thoracic Society. 2016; 13 (3): 350–355.
17. Сушко А.А., и др. Миниинвазивная хирургия пневмоторакса. Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2014; 3 (47): 21–23.
18. Соколов С.А. и др. Оригинальный способ тотальной плеврэктомии в радикальном оперативном пособии при первичном спонтанном пневмотораксе. Омский научный вестник. 2014; 128 (1): 60–62.
19. Воробьёв А.А., Калашников А.В., Салимов Д.Ш. Патологические проявления внутриплевральной адгезии. Современная наука и инновации. 2017; 1: 228–236.
20. Калашников А.В., Воробьёв А.А., Салимов Д.Ш. и др. Стимуляция адгезиогенеза при хронической эмпиеме плевры. Новости хирургии. 2018; 4 (26): 412–419.
21. Чикинев Ю.В., и др. Анализ осложнений торакоскопических оперативных методов лечения буллезной формы эмфиземы легких. Сибирский научный медицинский журнал. 2018; 1: 65–68.
22. Милованов А.П. Патологоанатомический анализ причин смертей. — М.: Медицина. 2003; 76 с.
23. Чикинев Ю.В., Дробязгин Е.А., Пионтковская К.А., и др. Сравнительная оценка торакоскопии и деструкции булл в сочетании с плевродезом и плеврэктомией. Вестник хирургии. 2016; 2.
24. Иванов О.В., Клименко В.Н., Решетов А.В. Экономическое обоснование использование амбулаторного плевродеза в лечении экссудативных опухолевых плевритов. Ученые записки СПбГМУ им. И.П.Павлова. 2020; 1.
25. Чарышкин А.Л., Кузьмина Е.А., Хуснутдинов Б.И., и др. Методы лечения резистентного экссудативного плеврита. Ульяновский медико-биологический журнал. 2020; 1.
26. Плаксин С.А., Фаршатова Л.И. Диагностические и лечебные возможности видеоторакоскопии при плевральных выпотах различной этиологии. Пермский медицинский журнал. 2017; 2.
27. Плаксин С.А., Фаршатова Л.И. Роль торакоскопии и плевродеза в диагностике и лечении воспалительных плевральных выпотов. Вестник хирургии 2018; 6.

© Хмара Артём Дмитриевич (premdania@yandex.ru); Капралов Сергей Владимирович (sergejkapralov@yandex.ru);
Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru); Базаров Дмитрий Владимирович;
Волков Кирилл Андреевич (kvolee@yandex.ru); Петрунькин Родион Павлович (rodyj16@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06.49

ОПЫТ ЛЕЧЕНИЯ ГНОЙНО-НЕКРОТИЧЕСКИХ ОСЛОЖНЕНИЙ ПОСЛЕ АБДОМИНОПЛАСТИКИ

EXPERIENCE IN THE TREATMENT OF PURULENT-NECROTIC COMPLICATIONS AFTER ABDOMINOPLASTY

I. Chumburidze
M. Shtilman
A. Pirogov
D. Neskoromny

Summary. This article examines the effectiveness of vacuum therapy in the treatment of purulent-necrotic complications following abdominoplasty. The aim of the study was to enhance treatment efficacy for patients by integrating traditional therapeutic methods with physical techniques. The study involved 17 patients transferred to the Municipal Budgetary Healthcare Institution «City Hospital No. 7» from 2018 to 2023. The patients were divided into two groups: a control group receiving standard treatment and a main group where physical methods, including vacuum therapy, were applied. The results showed that the main group experienced faster wound healing, a reduction in the length of hospital stay (26.4 days compared to 35.8 days in the control group), and improved dynamics of the wound process. The data indicate a significant advantage of vacuum therapy in treating purulent-necrotic complications, opening new perspectives for clinical practice in this field.

Keywords: liposuction and abdominoplasty complications, vacuum therapy, hydro-surgical necrosectomy, wound plastic surgery.

Чумбуридзе Игорь Павлович
Доктор медицинских наук, профессор, Ростовский государственный медицинский университет
ovanes81@list.ru
Штильман Михаил Юрьевич
Доктор медицинских наук, профессор, Ростовский государственный медицинский университет
shtilmanmihail@gmail.com
Пирогов Алексей Алексеевич
Аспирант, Ростовский государственный медицинский университет
alekseypirogov1998@gmail.com
Нескоромный Дмитрий Юрьевич
Ростовский государственный медицинский университет
dmitryneskoromny19@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается эффективность вакуум-терапии при лечении гнойно-некротических осложнений после абдоминопластики. Цель работы заключалась в повышении эффективности лечения пациентов путем интеграции традиционных методов терапии и физических методов. В исследовании участвовали 17 пациентов, переведенных в МБУЗ «Городская больница № 7» с 2018 по 2023 год. Пациенты были разделены на две группы: контрольную, получавшую стандартное лечение, и основную, где применялись физические методы, включая вакуум-терапию. Результаты показали, что в основной группе наблюдалось более быстрое заживление ран, сокращение длительности госпитализации (26,4 дня против 35,8 дней в контрольной группе) и улучшение динамики раневого процесса. Данные свидетельствуют о значительном преимуществе вакуум-терапии в лечении гнойно-некротических осложнений, что открывает новые перспективы для клинической практики в данной области.

Ключевые слова: осложнение липосакции и абдоминопластики, вакуум-терапия, гидрохирургическая некрэктомия, пластика раны.

Актуальность темы

Абдоминопластика, как одна из наиболее востребованных пластических операций, направлена на коррекцию формы живота и устранение избыточной кожи. Однако, несмотря на её популярность, операция может сопровождаться различными осложнениями, которые могут существенно ухудшить качество жизни пациентов и потребовать дополнительного медицинского вмешательства. По данным исследований, частота осложнений после абдоминопластики варьирует от 10 % до 30 %, что подчеркивает необходимость тщательной оценки рисков и разработки эффективных методов профилактики [1]. Среди наиболее распространённых осложнений можно выделить инфекционные процессы, серомы и некроз тканей. Эти состояния могут привести к длительным срокам восстановления и увеличению затрат на лечение [2] Несмотря на развитие пластической хирургии, соблюдение мер асептики и антисептики, как и при других хирургических манипуляциях не удается полостью избежать послеоперационных осложнений. Часто случается, что причинами осложнений абдоминопластики является не качество проведенной операции, а факторы, не зависящие от нее. К ним относятся: нарушение кровотока в области операции из-за индивидуальных анатомических особенностей, ожирение, инфекционная контаминации кожи больного до операции [Арнаутакис D.и т.д. Аль. 2017] [3].

Частота осложнений после абдоминопластики у пациентов с ожирением повышена и имеет следующую статистику: Инфекционные осложнения (4,2 %), увеличение периода заживления операционной раны (5,6 %), серома (2,8 %), тромбоз глубоких вен (1,4 %), некроз мягких тканей (4,2 %), так же нельзя исключить необходимость повторной операции (18,1 %) [Гхннам W. и т.д. Аль. 2016]. Выполненная круговая липоабдоминопластика повышает процент осложнений: инфицирование шва — 5 %, гематома — 3 %, серома — 13 %, расхождение швов 17 %, некроз кожи — 4 %, неровный рубец — 12 %, тромбоэмболия — 3 %, необходимо проводить повторную операцию — в 5 % случаев [Карлони R. и т.д. Аль. 2016]. Из вышеперечисленного следует, что наиболее часто встречаются инфекционные осложнения, данная проблема требует дальнейшего многоэтапного лечения в отделениях гнойно-некротических инфекций. При лечении инфекционных процессов мягких тканей в последнее время широко используется вакуум-терапия [4,5].

Целью проделанной работы является повышение эффективности лечения пациентов с гнойно-некротическими осложнениями после абдоминопластики путем интеграции общепринятой терапии и физических методов лечения.

Материалы и методы

Нами проведен анализ лечения 17 больных с гнойно-некротическими осложнениями после абдоминопластики. Данные пациенты ранее были оперированы в других клиниках и в связи с осложнениями были переведены для дальнейшего лечения в МБУЗ «Городская больница № 7» г. Ростов-на-Дону с 2018 по 2023 год. Все поступившие пациенты прооперированы по экстренным показаниям. Больным выполнялось оперативное вмешательство в объеме широкого вскрытия гнойника, некрэктомии. Так же при необходимости выполнялись этапные некрэктомии. Пациенты в зависимости от получаемой терапии были поделены на две группы. 1 группа — контрольная, 9 больных (53 %) терапия проводилась общепринятыми методиками (антибиотикотерапия, при необходимости коррекция сопутствующей патологии и нарушений в системе гомеостаза. Местное лечение соответствовало фазе воспалительного процесса и включало применение следующих средств: р-р йодопирона, мазь бетадин, мазь стеланин, диоксидиновая мазь, альгинатные повязки (Caltostat, Sorbalgon, Melgisorb, Comfeel). После очищения раны — выполнялась ее пластика). 2 группа (основная) 8 человек (47 %) в комплекс лечения включены физические методы лечения (гидрохирургическая некрэктомия, вакуум-терапия, ультразвуковая обработка раны с лавосептом). Больные были сопоставимы по возрасту, наличию сопутствующей патологии и методики выполнения абдоминопластики.

Для того чтобы оценить продуктивность лечения, использовались клинические данные. А развитие раневого процесса оценивалась с использованием цитологических исследований и системы MEASURE. Следует кратко сказать про основные компоненты данной системы оценки: M (Measure) — измеряются основные параметры раны, такие как длина, глубина и площадь; E (Exudate) — экссудат, то есть количество и качество субстанции; A (Appearance) — внешний облик, то есть специфика раневого ложа, тип ткани и количество; S (Suffering) — болевой синдром, то есть особенности болевой симптоматики и степень интенсивности; U (Undermining) — деструкция, то есть наличие, либо отсутствие таковой; R (Reevaluate) — наблюдение через использование регулярного контроля всех параметров; E (Edge) — край, то есть состояние краев раны и окружающей кожи.

Результаты

У больных 1 группы на фоне применения традиционной терапии более длительно сохранялись болевой синдром, температурная реакция, лейкоцитоз.

Для больных основной группы длительность гиперемии краев раны наблюдалась в течение 6,1±0,1 дней; появление грануляций было отмечено на 8,1±0,4 сутки очищение раны наступало на 13,9±0,3 день; выполнение раны активными грануляциями — на 15,7±0,9 день, выполнение пластического этапа лечения — на 17,6±0,7день. При этом исследование развития раневого процесса для представителей тех больных, которые получали только стандартную терапию, показывает, что гиперемия краёв раны наблюдается на протяжении 10,3±0,1 дней; появление грануляций было отмечено на 12,2±0,4 сутки, очищение раны наступало на 20,3±0,3 день; выполнение раны активными грануляциями — на 22,6±0,5 день, выполнение пластического этапа лечения— на 24,8±0,7день. В основной группе длительность госпитализации составила 26,4±0,8 дней, в контрольной — 35,8±2,3.

Анализ результатов

При анализе результатов лечения нами отмечено более благоприятное течение послеоперационного периода при применении в комплексной терапии физических методик.

При анализе болевого синдрома отмечено, что все больные обеих групп отмечали болевой синдром до 9,2÷1,3 суток, купирующийся применением не наркотических аналгетиков. Однако, на фоне использования вакуум терапии болевой синдром был несколько более выражен.

У больных исследуемой группы, болевой синдром, нормализация температуры тела наблюдались уже

на 3,1± 0,4 сутки после операции. У больных I группы нормализация температурной реакции имело место к 6,1± 0,2.

Сравнение показателей динамики раневого процесса подтверждают клинические данные о преимуществе применения в комплексной терапии физических методов: размеры послеоперационных ран к 10 суткам сокращались более интенсивно у больных основной группы до 36,9±0,2 % от исходной величины, в контрольной группе больных данный показатель наблюдался лишь к 15 суткам. У пациентов обеих групп интенсивность количества отделяемого прогрессивно снижалась. Однако, у больных исследуемой, начиная с 5,3±0,5-х суток, наблюдалось более интенсивное течение этого процесса. А начиная с 6 суток изменился и характер отделяемого — стал более светлым.

Таким образом, сопоставляя итоги выполненных цитологических исследований, возможно наблюдать большую интенсивность изменения цитологической картины для больных основной группы, по отношению к контрольной, где предоставлялся только стандартный вариант терапии. Уже к 8 третьим суткам у данных больных имело место смена дегенеративно-воспалительного типа цитограммы на воспалительно-регенераторный. При этом отмечалось увеличение РДИ до 0,86±0,041. В I группе воспалительно-регенераторный тип наблюдался лишь к 12 суткам. У больных контрольной группы подобные изменения имели место лишь к 18 суткам. Регенераторный тип цитограмм у больных 2 группы наблюдался к 13суткам, тогда как у пациентов 1группы — к 20-м.

Более интенсивная динамика раневого процесса у больных основной группы позволила выполнить пластический этап в более ранние сроки: к 17 суткам, тогда как в контрольной к 23-м. В связи с этим и длительность госпитализации в исследуемой группе была значительно короче. В основной группе длительность госпитализации составила 26,4±0,8 дней, в контрольной — 35,8±2,3.

Выводы

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что применение физических способов лечения в комплексной терапии гнойно-некротических послеоперационных осложнений после абдоминопластики способствует позволяет улучшить качество лечения данной категории.

Клинический пример пациента 2 группы

Больная О. 59 лет поступила в хирургическое отделение после одномоментного выполнения грыжесечения, липосакции, абдоминопластики. В ближайшем послеоперационном периоде произошло нагноение послеоперационной раны, некроз кожного лоскута (Рис. 1). В результате проводимой терапии состояние пациентки улучшилось, была выписана на амбулаторное лечение. Спустя месяц больная обратилась на консультацию в ГБУ ГБ №7 г. Ростов-на-Дону с жалобами на наличие выраженную слабость, боли в области послеоперационной раны, повышение Т тела до 38 С. (Рис. 1)



Рис. 1. При поступлении: осложнение липосакции и абдоминопластики. Нагноение послеоперационной раны. Некроз кожного лоскута

Больная поступила в отделении на 4 сутки после липосакиции в сочетании с одномоментной абдоминопластикой. В анамнезе гипертоническая болезнь (принимает базисную таблетированную терапию); ИМТ 29; ППТ 2.00038. Локально в мезо-гипогастрии имеется обширный некроз. Т тела повышалась до 38–38.5С

При поступлении: состояние средней тяжести, Лейкоциты — 16,9 10^9/л, юн-2, Эоз — 1 , Пал — 21 , Сегм — 59, Лимф — 15 , Мон — 2 , прокальцитонин — 4.1 нг/мл.

При поступлении выполнено вскрытие гнойника, гидрохирургическая некрэтомия, наложение аппарата вакуум терапии. Первые 3 суток мутное отделяемое составляло до 200 мл. На 4 сутки выполнена повторная гидрохирургическая некркэтомия в сочетании с ультразвуковой обработкой раны с Лавосептом. Смену аппарата вакуум терапии проводили каждые 4 суток, с ультразвуковой обработкой раневой поверхности. 12 суткам раневая поверхность представлена активными грануляциями (рис. 2, 3)

На 14 сутки выполнена комбинированная пластика раны (аутодермопластика свободным расщепленным кожным лоскутом, и наложение 2-х швов).



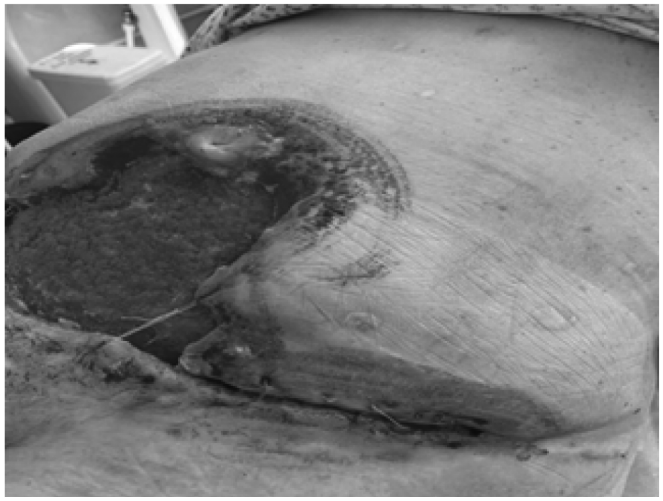


Рис. 2, 3. 12 сутки после поступления в отделение

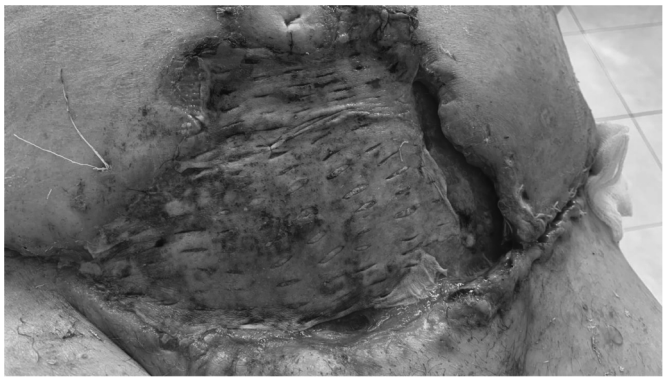


Рис. 4. Аутодермопластика свободным расщепленным кожным лоскутом, и наложение 2-х швов

На 20 сутки пациентка была выписана на амбулаторное лечение у хирурга по месту жительства.

Через год при контрольном осмотре имеется удовлетворительный косметический эффект (Рис. 5).

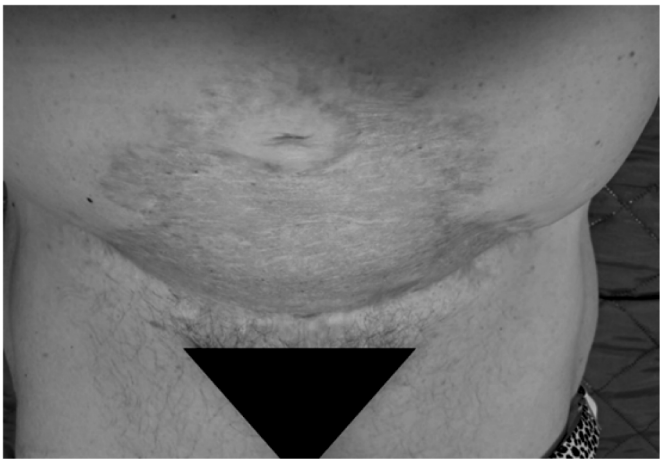


Рис. 5. Стояние через год после выполнения пластического этапа лечения

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов А.В., Петров И.Н. (2020). Осложнения после абдоминопластики: анализ причин и профилактика. *Хирургия*, 12(3), 45–50.
2. Смирнова Е.В., Иванов Д.А. (2021). Инфекционные осложнения в пластической хирургии: современные подходы к лечению. *Российский журнал хирургии*, 28(2), 102–108.
3. Копасов А.Е. Патогенетическое обоснование влияния ожирения на осложнения после абдоминопластики: автореф. дис . . . канд. мед. наук.\3.3.3 Копасов Андрей Евгеньевич. Москва, 2021, 24с. Библиограф.: с. 3.
4. Нефедов В.И., Чумбуридзе И.П., Штильман М.Ю., Явруян О.А., Вакуум-ассистированное лечение больных с синдромом диабетической стопы. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2014. № 4 (182). С. 91–93.
5. World Union of Wound Healing Societies' Initiative. Vacuum assisted closure: recommendations for use. A consensus document, 2008

© Чумбуридзе Игорь Павлович (ovanes81@list.ru); Штильман Михаил Юрьевич (shtilmanmihail@gmail.com);
Пирогов Алексей Алексеевич (alekseypirogov1998@gmail.com); Нескоромный Дмитрий Юрьевич (dmitryneskoromny19@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

Наши авторы

Abdulayeva Kh. — Dagestan State Medical University, Makhachkala

Alekseeva E. — MIREA - Russian Technological University (Moscow)

Ambrosov I. — St. Petersburg State University of Economics (SPbSUE), St. Petersburg

Antonovskaya O. — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering»

Arnawtee Mohammed Mahde Mahmood — Ural Federal University, Ekaterinburg

Arslankadieva M. — Dagestan State Medical University, Makhachkala

Azab Mohamed Abdalla Elsayed — Graduate student, Faculty of Information Technology Security, ITMO University, Saint Petersburg

Bartykhanova Kh. — Dagestan State Medical Academy, Makhachkala

Batyanova D. — Russian University of Technology MIREA

Bazarov D. — Doctor of Medicine Sciences, Petrovsky Russian Scientific Center for Surgery, Moscow

Beloturova A. — FSAEI of HE Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Belyakov A. — Graduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation»

Berger E. — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, RTU MIREA, Moscow

Besklubnaya A. — Candidate of Pedagogical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering»

Bier M. — Dentist-orthodontist, International Medical Association «BRICS Health University»

Bondarenko I. — Moscow State Technical University names Bauman

Our authors

Bragina E. — Doctor of Biological Science, Professor, N.P. Bochkov Research Centre for Medical Genetics; Lomonosov Moscow State University

Budnikov D. — postgraduate student, Financial University under the Government of the Russian Federation

Buryi A. — California State University, Northridge

Bystrov A. — Graduate student, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow

Chembarisov E. — postgraduate student, Ufa University of Science and Technology

Chubovskiy A. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Rostov State Medical University, Ministry of Public Health of Russia

Chumburidze I. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Rostov State Medical University

Dmitrieva V. — Russian University of Technology MIREA

Dobrinov K. — Postgraduate student, Russian State Humanities University

Drobot D. — Doctor of Medical Sciences, Professor, FGBUZ Federal Center for Cardiovascular Surgery, Krasnoyarsk; FGBOU Krasnoyarsk State Medical University named after Professor V.F. Voyno-Yasenetsky

Eremin I. — Postgraduate student, Perm State National Research University

Evgenevsky A. — Candidate of Medical Sciences, Federal State Budgetary Institution of Higher Education «Kuban State Medical University», Krasnodar

Evlakhova I. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Rostov State Medical University, Ministry of Public Health of Russia

Fedorov V. — Senior Lecturer, Russian University of Technology MIREA

Gabrielyan G. — Senior Lecturer, MIREA — Russian Technological University

Gadaeva I. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Gadzhieva U. — Dagestan State Medical University, Makhachkala

Gankin M. — Candidate of Medical Sciences, Federal Center for Cardiovascular Surgery, Krasnoyarsk

Gao Tianci — Graduate student, Bauman Moscow State Technical University

Golomidov A. — Candidate of Medical Sciences, FGAOU BO «Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky», Simferopol

Goryachkin B. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow State Technical University names Bauman

Grivenko S. — Doctor of Medical Sciences, FGAOU BO «Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky», Simferopol

Gryzlov V. — Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I

Gudkov A. — Postgraduate student, Moscow University of Finance and Law MFUA; Leading engineer, NPK MorTransNiiProekt, Moscow

Ilyin I. — Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Moscow State Technological University Stankin»

Irza O. — Candidate of Medical Sciences, docent, FSAEI of HE Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Isaeva I. — Senior Lecturer, MIREA — Russian Technological University

Ivanova L. — Bauman Moscow State Technical University

Kachalov S. — Senior Lecturer, MIREA — Russian Technological University

Kalinichenko A. — Candidate of Medical Sciences, Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Kalyuta N. — Moscow State Technical University names Bauman

Kapralov S. — Doctor of Medicine Sciences, associate professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Khizhnyakov V. — Moscow State Technical University names Bauman

Khmara A. — Candidate of Medical sciences, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Kirillina Yu. — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, RTU MIREA, Moscow

Kivva A. — Doctor of Medical Scrinces, professor, Rostov State Medical University, Ministry of Public Health of Russia

Klychkov I. — Postgraduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow State Technological University «STANKIN»

Kochenkov A. — postgraduate student, Russian Presidential Academy of National Economy, and Public Administration

Korzhuk V. — Associate Professor, Faculty of Information Technology Security, ITMO University, Saint Petersburg

Kostylev A. — Doctor of Medical Sciences, Federal State Budgetary Institution of Higher Education «Kuban State Medical University» Krasnodar

Kostylev K. — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Medical University» Krasnodar

Linchenko S. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Institution of Higher Education «Kuban State Medical University» Krasnodar

Litvinov V. — Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

Litvinovich L. — Bauman Moscow State Technical University

Magomedov S. — Dagestan State Medical Academy, Makhachkala

Magomedova U. — Senior Lecturer, Dagestan State Medical Academy, Makhachkala

Manzhula I. — Researcher of the Laboratory of Information Technologies of the Computing Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk

Mazurov M. — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Plekhanov Russian University of Economics

Mestnikova M. — Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk

Neplyuk O. — Candidate of Medical Sciences, docent, FSAEI of HE Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Neskoromny D. — Rostov State Medical University

Nurmagomedova S. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Onbysh T. — Candidate of Pharmaceutical Sciences, Federal State Budgetary Institution of Higher Education «Kuban State Medical University», Krasnodar

Ovcharenko E. — Candidate of Medical Sciences, docent, FSAEI of HE Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Pavlov A. — Postgraduate student, of the Moscow Financial Law University (MFUA)

Petrunkin R. — University «Reaviz», Saint Petersburg

Pirogov A. — Postgraduate student, Rostov State Medical University

Polidanov M. — Advisor to the Russian Academy of Natural Sciences (RANS), research department specialist, University «Reaviz», Saint Petersburg

Polskikh S. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I

Popov V. — Postgraduate Student at the Department of Applied Mathematics Russian Technological University MIREA

Poremov E. — RTU MIREA, Moscow

Potapova K. — Senior Lecturer, MIREA — Russian Technological University

Rao Shengren — Graduate student, Bauman Moscow State Technical University

Redkin A. — Doctor of Medical Sciences, Professor, FSBEI HE VSMU named after N.N. Burdenko

Rogozyanskaya M. — FSBEI HE VSMU named after N.N. Burdenko; Oncologist, Voronezh Regional Scientific and Clinical Oncology Center

Rossolovskaya K. — postgraduate student, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Sakovich V. — Functional Diagnostics Physician, FGBUZ Federal Center for Cardiovascular Surgery, Krasnoyarsk; FGBOU Krasnoyarsk State Medical University named after Professor V.F. Voyno-Yasenetsky

Salienko N. — Doctor of Economics, Professor, Bauman Moscow State Technical University

Severinova S. — Candidate of Medical Sciences, docent, FSAEI of HE Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Sharara Simbarashe — Graduate student, Moscow State Technological University «Stankin»

Shatov I. — Russian University of Technology MIREA

Shevtsova G. — Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, Russian State Humanities University

Shtilman M. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Rostov State Medical University

Skibin S. — Belgorod State National Research University

Slipchenko A. — Postgraduate Student, Plekhanov Russian University of Economics

Smetanina O. — Doctor of Technical Sciences, Professor, Ufa University of Science and Technology

Spivak L. — Doctor of Medical Science, Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Strikhar P. — Moscow State Technical University names Bauman

Suzdalsky D. — graduate student, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow

Trifonova N. — Doctor of Medical Sciences, Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Trunova S. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Trushin S. — Senior Lecturer, MIREA — Russian Technological University (Moscow)

Ulanov K. — Postgraduate Student, Moscow State Technological University «Stankin»

Usmanova K. — Candidate of Medical Sciences, Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Vikhtenko E. — Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor of the Higher School of Cybernetics, and Digital Technologies of the Pacific National University, Khabarovsk

Vinogradova M. — candidate of technical Sciences, associate Professor; Bauman Moscow State Technical University

Volkov K. — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Yang Bo — Graduate student, Bauman Moscow State Technical University

Yeskin D. — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Federal State Educational Institution of Higher Education «Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation»

Zagreba I. — Doctor of Melical Scrinces, Associate Professor, Rostov-on-Don Municipal Emergency Aid Hospital; Rostov State Medical University, Ministry of Public Health of Russia

Zaiter Murooj Fadhil Zaiter — Ural Federal University, Ekaterinburg

Zarkova E. — postgraduate student, M.V. Lomonosov Moscow State University; research engineer, A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences

Zavjalov A. — Candidate of Technical Sciences, MIREA — Russian Technological University

Zharkova E. — Pacific National University, Khabarovsk

Zhdanov A. — Doctor of Medical Sciences, Professor, FSBEI HE VSMU named after N.N. Burdenko

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 оставляет 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).