

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 5 2025 (МАЙ)

Учредитель журнала
Общество с ограниченной ответственностью
«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Журнал издается с 2011 года.

Редакция:

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

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

Издатель:

Общество с ограниченной ответственностью
«Научные технологии»

Адрес редакции и издателя:
109443, Москва, Волгоградский пр-т, 116-1-10
Тел/факс: 8(495) 142-8681
E-mail: redaktor@nauteh.ru
<http://www.nauteh-journal.ru>

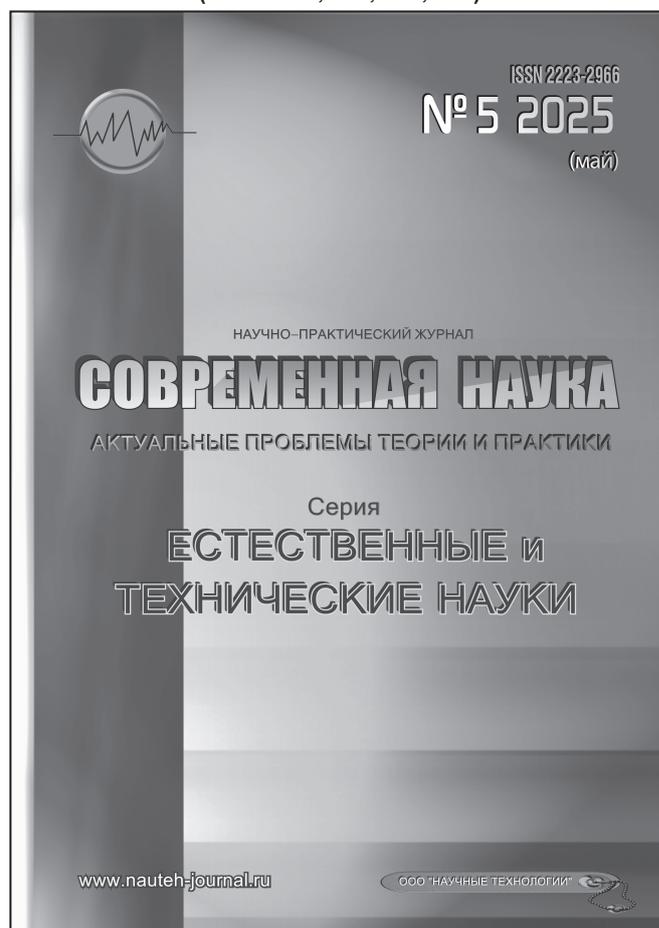
Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия.

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

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.x, 2.3.x, 3.1.x)



В НОМЕРЕ:

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

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

При перепечатке ссылка на журнал
«Современная наука»:
Актуальные проблемы теории и практики» обязательна.

Журнал отпечатан в типографии
ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296
Подписано в печать 13.05.2025 г. Формат 84x108 1/16
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Царегородцев Анатолий Валерьевич — д.т.н., профессор, Московский государственный лингвистический университет redaktor3@nauteh.ru

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Общая биология

Грибанова Е.А. — Особенности утилизации углеводов у психротолерантных дрожжей
Gribanova E. — Features of carbohydrate utilization in psychrotolerant yeasts.....7

Сайфиев Р.Р., Гаевая Е.В., Сивков Ю.В. — Специфика миграции загрязняющих веществ в растительном покрове вследствие аварийной ситуации при разливе нефтепродуктов
Saifiev R., Gayevaya E., Sivkov Yu. — The specifics of the migration of pollutants in vegetation due to an emergency situation during a spill of petroleum products17

Информатика, вычислительная техника и управление

Аскеров З.Х. — Синтетические данные как основа самообучающейся рекомендательной системы для банков: моделирование клиентского поведения и учёт макроэкономических факторов
Askerov Z. — Synthetic data as a foundation for a self-learning recommender system in banking: modeling client behavior and macroeconomic factors21

Баранник В.А. — Обзор применения машинного обучения для анализа и управления энергетическими системами
Barannik V. — Review of machine learning applications for analysis and control of energy systems28

Быстров А.И. — Распределение дневного промо-эффекта на основе локальной и исторической динамики
Bystrov A. — Allocating the daily promotional effect based on local and historical dynamics.....34

Гафаров Б.Р. — Эффективный обмен данными в интернете вещей: сравнение протоколов и использование открытых mqtt-брокеров
Gafarov B. — Efficient data exchange in the internet of things: comparison of protocols and the use of open Mqtt brokers.....38

Горячкин Б.С., Дудник М.В. — Эргономический анализ методов рендеринга веб-страниц на основе Next.js фронтенд фреймворка
Goryachkin B., Dudnik M. — Ergonomic analysis of web page rendering methods based on Next.js frontend framework42

Горячкин Б.С., Клюкин Н.А. — Эргономический сертификат программного обеспечения, базирующийся на иерархичности
Goryachkin B., Klyukin N. — Ergonomic software certificate based on hierarchy.....51

Джумалиев Н.Т. — Методы повышения сейсмостойкости металлоконструкций в условиях автоматизации строительства
Dzhumaliev N. — Methods of increasing the seismic resistance of metal structures in the conditions of construction automation58

Евдошенко О.И. — Оценка статических анализаторов кода Golang
Evdoshenko O. — Evaluation of static analyzers of Golang code63

Егунов В.А., Кузьменко А.А., Борисов А.С. — Анализ перспектив внедрения специализированных микроконтроллерных решений в системы точного земледелия для повышения устойчивости и продуктивности агропромышленных комплексов
Egunov V., Kuzmenko A., Borisov A. — Analysis of the prospects for the implementation of specialized microcontroller solutions in precision farming systems to increase the sustainability and productivity of agro-industrial complexes66

Зимнуров М.Ф. — Автоматизированный сбор метрик удовлетворенности Scrum команды
Zimnurov M. — Automated collection of Scrum team satisfaction metrics.....71

Камалетдинова К.Р., Мыльцева М.Н., Якупов Д.О. — Анализ влияния потери пакетов на скорость передачи данных в сети

<i>Kamaletdinova K., Myltseva M., Yakupov D.</i> — Analysis of the impact of packet loss on data transmission speed in the network	75
Кузьмин Н.Н., Завьялов А.В. — Оптимизация взаимодействия микросервисов через API: стратегии документирования и мониторинга с применением Postman и Swagger <i>Kuzmin N., Zavjalov A.</i> — Optimizing microservices interaction via API: strategies for documentation and monitoring using Postman and Swagger	80
Курков В.Н., Пальянов М.Е., Чурилов С.А. — Интеллектуальные методы оценки поставщиков в системе управления тендерами финансовой организации <i>Kurkov V., Palianov M., Churilov S.</i> — Intelligent methods for supplier evaluation in tender management systems of financial organizations	85
Мабу Моисе Эрманн — Методы устойчивого анализа лиц в некооперативных условиях: применение в контрразведке <i>Mabouh Moise Hermann</i> — Robust facial analysis methods in non-cooperative environments: applications to counter-intelligence.	90
Мабу Моисе Эрманн — Гибридная архитектура с адаптивной задержкой для анализа видеонаблюдения в реальном времени в сочетании с данными социальных сетей <i>Mabouh Moise Hermann</i> — Hybrid architecture with adaptive latency for real-time video surveillance analysis integrated with social network data.	98
Маринин В.П., Корягин С.В. — Проблемно-ориентированный язык описания генерации QR-кодов <i>Marinin V., Koryagin S.</i> — Problem-oriented description language for generation of QR codes	104
Маркелова А.В., Ромашкова О.Н., Чискидов С.В. — Функциональная модель системы мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса <i>Markelova A., Romashkova O., Chiskidov S.</i> — Functional model of the quality monitoring system medical services in a megalopolis	109
Микрюков А.А. — Концепция и реализация нового подхода к прогнозированию продаж товарных запасов с использованием методов машинного обучения <i>Mikryukov A.</i> — Concept and implementation of a new approach to inventory sales forecasting using machine learning methods	115
Мухортон А.А., Корягин С.В. — Зашифрованная переписка через протокол SMTP реализованный на языке C# <i>Mukhortov A., Koryagin S.</i> — Problem-oriented language for working with text as a python module	120
Набиев Р.Н., Абдуллаев А.А. — Ведение электронно-оптического наблюдения с помощью беспилотных летательных аппаратов и оптимизация возможностей применения <i>Nabiyev R., Abdullayev A.</i> — Electro-optical observation with UAVs and optimization of application possibilities.	128
Неволин Ф.Д., Ромашкова О.Н., Чискидов С.В. — Модели управленческих процессов при построении и развитии ИТ-инфраструктуры холдинговых компаний <i>Nevolin F., Romashkova O., Chiskidov S.</i> — Models of management processes when building and developing an IT-infrastructure of holding companies	136
Никулин А.Р., Ермаков Д.Н. — Математическая модель для оценки вероятности реализации инженерного проекта <i>Nikulin A., Ermakov D.</i> — Mathematical model for assessing the probability of implementing an engineering project	143
Палюх Б.В., Чесалов А. — Роль современных технологий искусственного интеллекта в создании и развитии автоматизированных систем прогнозируемого и предписывающего обслуживания в промышленности <i>Palyukh B., Chesalov A.</i> — The role of modern artificial intelligence technologies in the creation and development of automated predictive and prescriptive maintenance systems in industry	147

- Савельев А.А., Жидков Е.И.** — Анализ качества восприятия сложных графических изображений с различным набором характеристических параметров
Savelyev A., Zhidkov E. — Analysis of the perception quality of complex graphical images with various sets of characteristic parameters 156
- Семенюк Т.А.** — Оптимизация производительности обработки транзакций на блокчейне TON
Semenyuk T. — Performance optimization of transactions processing on blockchain TON 165
- Тырышкин С.Ю.** — Оптимизация стратегии управления технологическими процессами в условиях неопределенности
Tyryshkin S. — Optimization of the process management strategy in conditions of uncertainty 171
- Уртнасан Батнасан** — Применение теории игр и БЯМ-анализа контента в социальных сетях для выявления равновесия по Нэшу и ключевых игроков в условиях массовых беспорядков
Urtnasan Batnasan — Application of game theory and LLM-based content analysis in social networks to identify Nash equilibrium and key players under mass riots 177
- Хаков Е.М.** — Влияние информационных технологий на эффективность управления в современных организациях
Khakov E. — The impact of information technology on management efficiency in modern organizations 185
- Хаков Е.М.** — Барьеры активного использования инновационных технологий на мировом рынке
Khakov E. — Existing restrictions on the use of innovative technologies in the world market 189
- Клиническая медицина
- Абдулова Н.Х., Моисеенко В.М., Скрипко О.А., Шералиев А.Р., Жабина А.С.** — Абемациклиб в комбинации с эндокринотерапией после прогрессирования на CDK 4/6 ингибиторах при метастатическом раке молочной железы HR+HER2-
Abduloeva N., Moiseenko V., Skripko O., Sheraliev A., Zhabina A. — Abemaciclib in combination with endocrine therapy after progression on CDK 4/6 inhibitors in HR+HER2— metastatic breast cancer 193
- Абуалруб Немр Амин, Курбанова З.В., Курбанисмаилова М.Г., Омарова Х.З.** — Современные подходы к лечению длительно незаживающих ран: практический опыт
Abualrub Nemr Amin, Kurbanova Z., Kurbanismailova M., Omarova Kh. — Modern approaches to the treatment of long non-healing wounds: our experience 199
- Гуревич Ю.Ю., Прохорова В.О.** — Стоматологическая реабилитация пациентов с дисфункцией височно-нижнечелюстных суставов с помощью репозиционного ортеза
Gurevich Yu., Prohorova V. — Dental rehabilitation of patients with temporomandibular joint dysfunction using a repositional orthosis 204
- Загорулько А.И., Нистратов Г.П., Голубцов А.К., Козлов Д.В., Колединский А.Г., Рыков С.П.** — Анализ эффективности и безопасности имплантируемых порт-систем, установленных под ультразвуковой и рентгенографической навигацией
Zagorulko A., Nistratov G., Golubcov A., Kozlov D., Koledinskiy A., Rykov S. — Analysis of the effectiveness and safety of implantable port systems installed under ultrasound and radiographic navigation ... 210
- Капралов С.В., Полиданов М.А., Гавруков Д.С., Волков К.А., Масляков В.В., Ташухожяева Д.Т.** — Обоснование экспериментального способа устранения последствий смоделированной минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза с тазовой эвентрацией
Kapralov S., Polidanov M., Gavrukov D., Volkov K., Maslyakov V., Tashukhozhaeva D. — Substantiation of the experimental method of elimination of the consequences of simulated mine blast trauma of soft tissues and pelvic organs with pelvic eventure. ... 219
- Погодина Е.А., Лобов А.В., Иванова П.И., Головня Е.Г., Сорокина Е.В.** — Разработка и апробация метода оценки менструальной кровопотери, основанного на алкалин-гематиновой экстракции

<i>Pogodina E., Lobov A., Ivanova P., Golovnya E., Sorokina E.</i> — Development and validation of a method for estimating menstrual blood loss based on alkaline-haematin extraction	224
<i>Султанова О.Э., Чернышева Е.Н., Касаткина С.Г., Карабасова А.С., Дешиев Б.С., Даудова М.М.</i> — Клинико-лабораторные особенности острой постинфарктной аневризмы сердца и частота ее встречаемости у пациентов с острым коронарным синдромом на фоне недифференцированной дисплазии соединительной ткани <i>Sultanova O., Chernysheva E., Kasatkina S., Karabasova A., Deshiev B., Daudova M.</i> — Clinical and laboratory features of acute postinfarction cardiac aneurysm and its frequency in patients with acute coronary syndrome on the background of undifferentiated connective tissue dysplasia	231
<i>Хмара А.Д., Капралов С.В., Полиданов М.А., Базаров Д.В., Волков К.А., Петрунькин Р.П.</i> — Хирургическая тактика одномоментного лечения двухсторонней буллезной эмфиземы легких <i>Khmara A., Kapralov S., Polidanov M., Bazarov D., Volkov K., Petrunkin R.</i> — Surgical tactics of one-stage treatment of bilateral bullous pulmonary emphysema	236
<i>Эльмаграби Махмуд Хамди</i> — Сравнение эффективности роботизированной хирургии и традиционной лапароскопии <i>Elmaghraby Mahmoud Hamdy</i> — Comparison of the effectiveness of robotic surgery and traditional laparoscopy	241
Наши авторы	245

ОСОБЕННОСТИ УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕВОДОВ У ПСИХРОТОЛЕРАНТНЫХ ДРОЖЖЕЙ¹

Грибанова Екатерина Александровна

Аспирант, старший преподаватель,
Белорусский государственный университет, г. Минск
lika-den98@mail.ru

FEATURES OF CARBOHYDRATE UTILIZATION IN PSYCHROTOLERANT YEASTS

E. Gribanova

Summary. The work describes the metabolic potential of yeast isolated from various ecosystems of East Antarctica (Enderby Land, MacRobertson Land). For 21 yeast cultures belonging to the genera *Moesziomyces* (2 isolates), *Leucosporidium* (3 isolates), *Naganishia* (1 isolate), *Mycochaetophora* (1 isolate), *Rhodotorula* (3 isolates), *Sporobolomyces* (6 isolates), *Cystobasidium* (2 isolates), *Solicoccozyma* (1 isolate), *Dothiora* (1 isolate), *Glaciozyma* (1 isolate) the ability to utilize glucose, lactose, sucrose, fructose, maltose, mannitol, xylose, rhamnose, galactose, peptone, starch, glycerol under aerobic and anaerobic cultivation conditions was determined. The study of glucose utilization under aerobic and anaerobic conditions showed the presence of predominantly respiratory type metabolism, since carbon dioxide formation did not occur under anaerobic cultivation conditions.

Keywords: psychrophiles, metabolism, fermentation, yeast, Antarctica, carbohydrate utilization, growth kinetics, basidiomycetes, and ascomycetes.

Аннотация. В работе описан метаболический потенциал дрожжей, выделенных из различных экосистем Восточной Антарктиды (Земля Эндерби, Земля Мак-Робертсона). Для 21 культуры дрожжей, принадлежащих к родам *Moesziomyces* (2 изолята), *Leucosporidium* (3 изолята), *Naganishia* (1 изолят), *Mycochaetophora* (1 изолят), *Rhodotorula* (3 изолята), *Sporobolomyces* (6 изолятов), *Cystobasidium* (2 изолята), *Solicoccozyma* (1 изолят), *Dothiora* (1 изолят), *Glaciozyma* (1 изолят) была определена способность утилизировать в аэробных и анаэробных условиях культивирования глюкозы, лактозы, сахарозы, фруктозы, мальтозы, маннита, ксилозы, рамнозы, галактозы, пептона, крахмала, глицерина. Исследование утилизации глюкозы в аэробных и анаэробных условиях показало наличие метаболизма преимущественно дыхательного типа, так как образование углекислого газа в анаэробных условиях культивирования не происходило.

Ключевые слова: психрофилы, метаболизм, брожение, дрожжи, Антарктида, утилизация углеводов, кинетика роста, базидиомицеты, аскомицеты.

Введение

В связи с чутким откликом полярных экосистем на глобальное изменение климата стали особенно актуальны исследования микроорганизмов Антарктиды [1]. Биогеоценозы материка уникальны, поскольку характеризуются чрезвычайно суровым климатом. Установлено, что по показателю биомассы в антарктических почвах и грунтах преобладают грибы [2, 3], изучению которых в этом регионе уделено пока значительно меньше внимания, чем прокариотам. Микобиота Антарктиды выполняет не только свои классические экосистемные функции, включая разложение органического вещества любой сложности и происхождения, но является основой существования для других организмов и даже сообществ, представленных лишайниками, эндолитами, микробными матами и т.д. [4–9]. Антарктические грибы выполняют функцию ранней колонизации скальных обнажений, переводят биоэлементы горных пород

в доступную для других организмов форму, способствуют структурированию местных почв со слабо развитым профилем [10, 11]. Поэтому грибы имеют решающее значение для поддержания равновесия экосистем в Антарктиде [1, 12]. Особенности метаболизма антарктических штаммов грибов позволяют им быть устойчивыми к широкому спектру стрессовых условий и колонизировать все доступные экологические ниши [7, 8, 13, 14].

Дрожжи в антарктических субстратах в основном представлены базидиомицетовым, а не аскомицетовым аффинитетом [15, 16]. К 2012 году в Антарктиде обнаружено 70 видов дрожжей, из них 13 аскомицетов и 57 базидиомицетов [17]. Наиболее обильными для антарктических субстратов являются роды *Bullera*, *Bulleromyces*, *Candida*, *Cryptococcus*, *Cystofilobasidium*, *Dioszegia*, *Hyphozyma*, *Leucosporidiella*, *Leucosporidium*, *Mrakia*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces* и *Trichosporon* [15–19].

¹ Данная работа была выполнена при поддержке проекта, финансируемого Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований № 20231168 («Производство биологически активных веществ психрофильными дрожжами, выделенными из образцов почв Восточной Антарктиды»).

Существование микроорганизмов при отрицательных температурах не лабораторный феномен, а обычное природное явление [20]. В ходе длительной эволюции микроорганизмы, и грибы, в частности, смогли выработать ряд адаптаций к этим условиям. Такие адаптации можно разделить на экологические и физиологические. К экологическим адаптациям можно отнести одну из стратегий развития: эфемерный или сбалансированный (экономный) рост. При сбалансированном развитии грибы, вероятно, вынуждены расти в олиготрофных условиях, не выдерживая конкуренции за субстрат с эфемерами. Таким олиготрофным субстратом зачастую становятся местные горные породы, для колонизации которых литобионтной микобиоте приходится использовать меристематический и дрожжеподобный рост [21]. Ввиду того, что все грибы являются гетеротрофами, в Антарктиде им приходится входить в лишайниковый и эндолитный симбиозы, где микобиота выполняет важные экологические функции, необходимые для выживания всего сообщества в целом [6–8, 22].

Кроме того, микроорганизмы экстремально холодных экосистем для успешного выживания должны обладать широким спектром ферментов для извлечения питательных элементов практически из любого субстрата [23] и синтезировать криопротекторы, например, сахароспирты, многоатомные спирты, белки-антифризы и т. д. [24].

В ходе предварительных исследований нами был выделен 21 изолят дрожжей из образцов гиполитов, эндолитов и таялки Восточной Антарктиды (Земля Эндерби, Земля Мак-Робертсона) и изучены особенности морфологий клеток и колоний, а также физиолого-биохимические свойства [25].

Целью данной работы являлось исследование антарктических дрожжей на способность утилизировать различные источники углерода в аэробных и анаэробных условиях культивирования.

Материалы и методы

В качестве объекта исследований выступали 21 штамм дрожжей, выделенных из образцов мелкозема Восточной Антарктиды (станция Молодежная, полевая база Гора-Вечерняя (Земля Эндерби), горы Принс-Чарльз (Земля Мак-Робертсона)). Образцы были отобраны участниками Белорусских антарктических экспедиций в период в 2012–2017 гг. (см. таблицу 1). По результатам идентификации культуры дрожжей были депонированы в Белорусскую коллекцию непатогенных микроорганизмов (научной коллекции типовых и промышленно ценных штаммов микроорганизмов Института микробиологии НАН Беларуси) [26, 27].

Исследование окислительной/ферментативной утилизации углеводов проводили по методу О/Ф-теста с использованием полужидкой среды Хью-Лейфсона, содержащей углеводы (пентозы: ксилоза; гексозы: глюкоза, галактоза, фруктоза, рамноза; дисахариды: лактоза, мальтоза, сахароза; полисахариды: крахмал; спирты: маннит, глицерин) и индикатор pH среды (бромкрезоловый пурпурный) [28].

Изучение бродильной активности дрожжей проводили с использованием трубок Дунбара и среды Ридер с 10 % содержанием глюкозы. Об интенсивности брожения судили по количеству вытесненной среды культивирования у запаянного конца трубки [28].

С целью изучения динамики метаболизма углеводов использовали многостадийный процесс [28]. Аэробные культуры выращивали при постоянном перемешивании (140 об/мин), анаэробные — покрывали слоем вазелинового масла и инкубировали в стационарных условиях. По полученным данным зависимости оптической плотности от времени культивирования были построены кривые роста исследуемых штаммов дрожжей. Согласно полученным данным, проводили расчёт удельной скорости роста и времени генерации [28].

Определение концентрации глюкозы в культуральной жидкости. В качестве реактива на восстанавливающие сахара использовали $K_3[Fe(CN)_6]$, измерения оптической плотности проводили при 440 нм [28]. Для анализа была построена калибровочная кривая. Уравнение линии тренда, согласно графику, имело вид $y=0,151 \cdot x - 0,121$, в то же время величина достоверности аппроксимации близка к 1 (равна 0,9789).

Определение органических кислот и спиртов. Органические кислоты (в виде их метиловых эфиров) анализировали методом газовой хроматографии с использованием газового хроматографа Agilent 7820A GC (Agilent Technologies, США), оснащенного пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой ZB-WAX 0,25 мм×30 м×0,25 мкм (полиэтиленгликоль). Анализ содержания органических кислот проводили при скорости потока гелия через колонку 1,32 мл/мин; температуре инжектора — 230 °С, детектора — 275 °С, температуре колонки — 60 °С (1 мин), затем температура колонки повышалась со скоростью 10 °С/мин до 250 °С и выдерживалась 5 мин. Объем анализируемой пробы — 1 мкл. Анализ содержания спиртов проводили при скорости потока гелия через колонку 1,44 мл/мин; температуре инжектора — 220 °С, детектора — 280 °С, температуре колонки — 35 °С (5 мин), затем температура колонки повышалась со скоростью 5 °С/мин до 150 °С и далее со скоростью 20 °С/мин до 250 °С. Объем анализируемой пробы — 0,2 мкл. Идентификацию метиловых эфиров органических кислот проводили по времени удерживания при разделении стандартных смесей метиловых

Таблица 1.

Место отбора образца и физиологические параметры дрожжей Восточной Антарктиды

Таксоны	Коллекционный номер [27]	Температурный диапазон роста (°C) [25]	Место отбора образца	
Basidiomycota	<i>Moesziomyces parantarcticus</i> БИМ Y-380	10–37	гиполиты	Земля Эндерби, станция Молодежная
	<i>Moesziomyces parantarcticus</i> БИМ Y-365	10–37		
	<i>Leucosporidium fragarium</i> БИМ Y-363	4–28		
	<i>Leucosporidium</i> sp. БИМ Y-364	4–28		
	<i>Naganishia</i> sp. БИМ Y-379	4–28	эндолиты	
	<i>Leucosporidium</i> sp. БИМ Y-377	4–28	гиполиты	Земля Мак-Робертсона, горы Принс-Чарльз
	<i>Rhodotorula glutinis</i> БИМ Y-375	4–28		
	<i>Rhodotorula glutinis</i> БИМ Y-376	4–28		
	<i>Rhodotorula glutinis</i> БИМ Y-369	4–28	гиполиты	Земля Эндерби, полевая база Гора Вечерняя
	<i>Sporobolomyces phaffii</i> БИМ Y-378	4–28		
	<i>Sporobolomyces phaffii</i> БИМ Y-367	4–28		
	<i>Sporobolomyces phaffii</i> БИМ Y-374	4–28		
	<i>Sporobolomyces phaffii</i> БИМ Y-370	4–28		
	<i>Sporobolomyces phaffii</i> БИМ Y-371	4–28		
	<i>Sporobolomyces phaffii</i> БИМ Y-372	4–28		
	<i>Cystobasidium ritchiei</i> БИМ Y-366	4–22		
	<i>Cystobasidium ritchiei</i> БИМ Y-368	4–22		
	<i>Solicoccozyma terricola</i> БИМ Y-373	4–22		
<i>Glaciozyma antarctica</i> БИМ Y-381	4–10	таялка	Земля Эндерби, холмы Тала, мыс возле бухты Лазурная	
Ascomycota	<i>Dothiora cannabinae</i> БИМ Y-383	4–32	гиполиты	Земля Эндерби, холмы Тала, мыс Гнездовой
	<i>Mycochaetophora gentianaе</i> БИМ Y-382	4–28	эндолиты	Земля Эндерби, станция Молодежная

эфиров этих веществ и их содержание в образце оценивали по методу внутренней нормализации. Идентификацию спиртов проводили по времени удерживания при разделении их стандартных образцов.

В качестве контроля во всех опытах использовали штамм *Saccharomyces cerevisiae* из коллекции культур кафедры микробиологии биологического факультета БГУ.

Результаты и их обсуждение

Исследование окислительной/ферментативной утилизации углеводов (O/F тест) проводили с использованием среды Хью-Лейфсона, индикатора pH среды и с добавлением различных источников углеводов. Из-

менение окраски среды в результате образования кислых и щелочных продуктов метаболизма детектировали в течение трех недель (см. таблицу 2).

Анализируя полученные результаты, было выявлено, что пентозы были мало доступны для психротолерантных дрожжей, ввиду чего только 10 из 21 культуры смогли утилизировать её с образованием кислых и щелочных продуктов метаболизма. При утилизации гексоз в большинстве случаев образовывались кислые продукты метаболизма, за исключением рамнозы, при росте на которой 13 штаммов дрожжей образовывали щелочные продукты. Следует отметить, что наиболее доступным углеводом была выявлена глюкоза, при этом наилучший эффект был выявлен при одновременном добавлении

Таблица 2.

Результаты утилизации углеводов изолятами дрожжей в полужидких питательных средах

Углеводы	Исследуемые культуры																	Итого						
	окисление/брожение	<i>M. parantarcticus</i> БИМ У-380	<i>M. parantarcticus</i> БИМ У-365	<i>L. fragarium</i> БИМ У-363	<i>Leucosporidium</i> sp. БИМ У-364	<i>Leucosporidium</i> sp. БИМ У-377	<i>Nagashia</i> sp. БИМ У-379	<i>Rh. glutinis</i> БИМ У-375	<i>Rh. glutinis</i> БИМ У-376	<i>Rh. glutinis</i> БИМ У-369	<i>Sp. phaffii</i> БИМ У-378	<i>Sp. phaffii</i> БИМ У-367	<i>Sp. phaffii</i> БИМ У-374	<i>Sp. phaffii</i> БИМ У-370	<i>Sp. phaffii</i> БИМ У-371	<i>Sp. phaffii</i> БИМ У-372	<i>C. richiei</i> БИМ У-366	<i>C. richiei</i> БИМ У-368	<i>S. terricola</i> БИМ У-373	<i>Gl. antarctica</i> БИМ У-381	<i>D. canabinae</i> БИМ У-383	<i>M. gentiana</i> БИМ У-382		
пентозы	ксилитоза	аэр	4	6	-	20	6	11	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	15	4	6	9	1
	ан	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	11	2	-
гексозы	глюкоза и пептон	аэр	6	6	1	1	0,5	1	1	2	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	2	6	21	-
	ан	12	12	9	9	1	0,5	1	1	6	1	1	6	1	1	1	1	1	0,5	0,5	6	6	21	-
	аэр	-	-	3	3	3	5	3	-	-	1	-	-	-	4	5	3	-	7	-	-	10	11	-
	ан	-	-	3	3	3	1	3	-	-	1	-	-	-	3	4	3	-	1	-	-	10	11	-
дисахариды	пептон без глюкозы	аэр	-	-	6	-	2	-	-	-	-	-	-	-	9	6	6	9	6	6	2	6	5	6
	ан	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6	6	6	9	6	-	-	6	5	-
	аэр	7	7	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	16	20	9	7	7	7	16	3	10	-
	ан	20	20	10	10	7	7	9	7	9	7	9	7	7	7	9	7	7	7	13	7	2	21	-
фруктоза	аэр	7	5	7	12	-	12	5	5	-	-	-	-	12	-	-	-	-	12	9	5	5	11	1
	ан	-	-	-	-	-	12	10	12	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	11	14	6	-
рамноза	аэр	9	9	9	9	9	-	6	2	9	9	9	9	-	-	-	-	11	11	16	7	7	4	13
	ан	-	-	-	-	-	-	7	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	4	-
лактоза	аэр	6	6	9	16	-	9	12	-	-	12	-	-	12	7	-	-	-	-	7	12	10	6	7
	ан	8	8	9	9	9	16	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	16	-	7	10	9	1
мальтоза	аэр	5	5	5	5	7	7	3	3	5	7	5	5	5	5	-	10	9	7	-	4	5	17	2
	ан	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	12	3	-
сахароза	аэр	5	5	5	5	5	3	3	3	5	4	5	5	5	5	7	12	12	5	9	3	5	18	3
	ан	-	-	12	-	12	7	5	5	12	10	7	14	12	-	-	-	-	-	-	7	9	13	-

полисахариды	крахмал	аэр	-	-	3	3	-	8	3	3	11	-	-	11	8	4	8	4	4	4	8	8	18	4	4	6	10
		ан	-	-	-	4	-	-	4	-	4	2	2	2	8	4	-	-	-	-	15	-	-	8	4	4	10
спирты	маннит	аэр	11	11	11	-	-	-	6	6	11	11	6	11	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		ан	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
спирты	глицерин	аэр	7	7	10	10	10	-	7	7	9	-	-	11	11	-	6	6	6	6	-	8	-	5	11	4	
		ан	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	9	9	-	-	-	11	6	6	-

Количество углеводов, которые каждая культура может утилизировать с образованием кислых и щелочных продуктов

кислое	аэр	9	9	6	7	5	6	6	10	9	7	5	4	7	7	7	4	4	4	8	2	11	12		
щелочное	аэр	1	1	5	4	2	3	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	4	4	2	7	-	1		
кислое	ан	4	4	5	4	5	8	6	5	5	5	4	4	5	5	7	6	5	3	5	2	9	12		
щелочное	ан	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-		

Примечание: цифры обозначены сутки культивирования, на которые наблюдали изменение pH среды.

Условные обозначения:

нет изменений от контроля	-	
желтый		синий
слабо желтый		слабо синий
очень слабо желтый		варианты исходного

и углевода и дополнительного источника аминокислот (пептона) в среду для культивирования. Доступность дисахаридов для утилизации уменьшалась в ряду сахара-роза, мальтоза, лактоза преимущественно в аэробных условиях культивирования. При утилизации полисахаридов в аэробных условиях образовывались преимущественно щелочные продукты, а в анаэробных — кислые.

Среди исследуемых спиртов, более доступным для утилизации был выявлен шестиатомный спирт глицерин, при этом утилизация спиртов наблюдалась преимущественно в аэробных условиях.

Подытоживая, следует отметить что **наибольшей** метаболической активностью в **аэробных** условиях обладали культуры *M. gentianae* БИМ Y-382 (13 углеводов), *Rh. glutinis* БИМ Y-375 (12), *D. cannabinae* БИМ Y-383, *L. fragarium* БИМ Y-363 и *Leucosporidium* sp. БИМ Y-364 (11), *M. parantarcticus* БИМ Y-380, *M. parantarcticus* БИМ Y-365, *Rh. glutinis* БИМ Y-376 и *S. terricola* БИМ Y-373 (10); **наибольшей** метаболической активностью в **анаэробных** условиях обладали культуры *M. gentianae* БИМ Y-382 (12), *D. cannabinae* БИМ Y-383 (9), *Naganishia* sp. БИМ Y-379 (8). К брожению с образованием щелочных продуктов способна только культура *S. terricola* БИМ Y-373 (брожение лактозы).

Исследование бродильной активности в трубках Дунбара

Данный опыт проводили с использованием трубок Дунбара, в которых при брожении в закрытом колене скапливался газ, по объему которого определяли наличие/отсутствие бродильной активности с образованием углекислого газа. В исследованиях использовали глюкозу в качестве источника углевода.

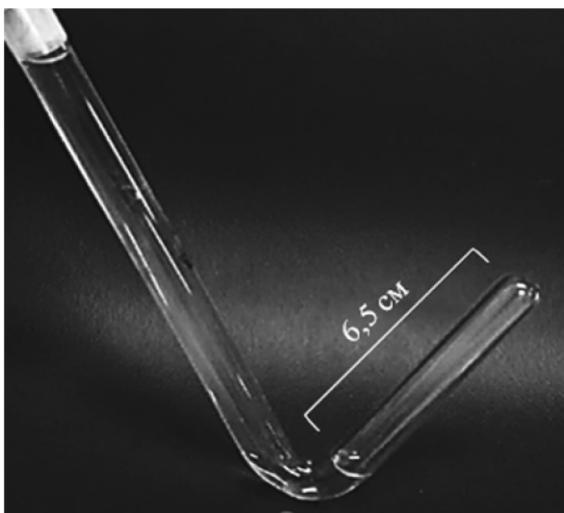
На первые сутки культивирования положительная реакция наблюдалась только у контрольной культуры — 6,5 см столбик CO₂ (см. рисунок 1 (А)). На десятые сутки опыта у антарктических дрожжей не было выявлено положительной реакции, изоляты показали рост либо на границе раздела фаз воздух/жидкость, либо у разделительного колена (см. рисунок 1 (Б)).

Данные результаты свидетельствуют о том, что в жидкой среде, содержащей только углерод и соли, все исследуемые антарктические изоляты дрожжей не способны сбраживать углерод с образованием газообразных продуктов. Дополнительно были проведены исследования с другими углеводами, при росте на которых в О/Ф тесте в анаэробных условиях изменялось рН среды — положительных результатов не наблюдалось.

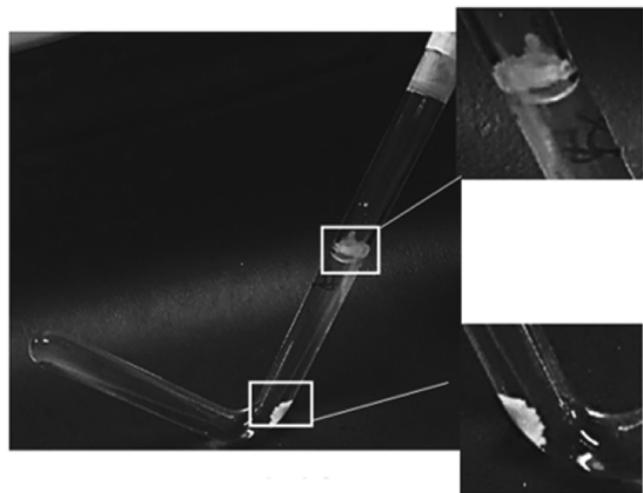
Изучение метаболизма дрожжей в аэробных и анаэробных условиях культивирования

В исследованиях динамики роста антарктических штаммов дрожжей в жидкой питательной среде использовали углеводы, с которыми был показан рост и изменение рН среды у всех исследуемых штаммов (глюкозу, сахарозу и галактозу в концентрации 2 %).

Графическая зависимость оптической плотности культуральной жидкости от времени имела сигмоидальную форму, что является типичной кривой роста дрожжевых штаммов. По мере роста антарктических дрожжей происходило накопление вторичных продуктов метаболизма (органические кислоты, спирты и т.д.), которые изменяли показатель кислотности сред (рН) и, в зависимости от исследуемого углевода, происходило изменение темпов роста дрожжей (см. таблицу 3). Следует отметить, что изменение показателей рН среды в кислую или щелочную сторону при росте в жидкой питательной



А



Б

Рис. 1. Исследование бродильной активности в трубках Дунбара: А — *S. cerevisiae*, Б — *Rh. glutinis* БИМ Y-376

Таблица 3.
Определение динамических показателей роста
антарктических штаммов дрожжей на разных углеводах

№	Штаммы дрожжей	пара- метры	углеводы, 2 %		
			глюкоза	галак- тоза	сахароза
1	<i>M. parantarcticus</i> БИМ Y-380	g	5,142	8,472	6,126
		pH	2,74	2,54	2,52
2	<i>M. parantarcticus</i> БИМ Y-365	g	8,583	7,587	5,703
		pH	2,55	2,52	2,43
3	<i>Naganishia</i> sp. БИМ Y-379	g	6,761	13,161	6,365
		pH	2,47	5,59	2,52
4	<i>L. fragarium</i> БИМ Y-363	g	4,952	8,618	7,851
		pH	3,42	5,68	2,43
5	<i>Leucosporidium</i> sp. БИМ Y-364	g	7,420	9,772	7,948
		pH	3,23	6,07	2,41
6	<i>Leucosporidium</i> sp. БИМ Y-377	g	7,104	16,506	7,501
		pH	3,17	6,45	2,36
7	<i>Rh. glutinis</i> БИМ Y-375	g	6,174	7,305	4,998
		pH	3,12	2,44	2,24
8	<i>Rh. glutinis</i> БИМ Y-376	g	6,741	7,258	4,724
		pH	3,11	2,43	2,21
9	<i>Rh. glutinis</i> БИМ Y-369	g	14,642	10,564	6,441
		pH	2,80	6,37	2,22
10	<i>Sp. phaffii</i> БИМ Y-378	g	6,081	11,447	7,492
		pH	2,72	6,27	2,16
11	<i>Sp. phaffii</i> БИМ Y-367	g	6,906	12,194	6,426
		pH	2,70	6,31	2,20
12	<i>Sp. phaffii</i> БИМ Y-374	g	17,657	13,076	9,351
		pH	3,04	6,54	2,24
13	<i>Sp. phaffii</i> БИМ Y-370	g	17,483	13,386	7,172
		pH	3,23	6,47	2,47
14	<i>Sp. phaffii</i> БИМ Y-371	g	13,344	10,524	6,033
		pH	2,88	6,23	2,17
15	<i>Sp. phaffii</i> БИМ Y-372	g	6,050	17,953	7,113
		pH	3,67	3,63	3,50

№	Штаммы дрожжей	пара- метры	углеводы, 2 %		
			глюкоза	галак- тоза	сахароза
16	<i>C. ritchiei</i> БИМ Y-366	g	12,805	9,238	7,679
		pH	3,93	4,54	6,58
17	<i>C. ritchiei</i> БИМ Y-368	g	10,909	10,479	8,729
		pH	4,18	4,46	6,62
18	<i>S. terricola</i> БИМ Y-373	g	6,293	7,739	7,630
		pH	3,53	2,76	2,50
19	<i>D. cannabinae</i> БИМ Y-383	g	–	–	–
		pH	2,77	2,93	2,36
20	<i>M. gentianaе</i> БИМ Y-382	g	–	–	–
		pH	2,50	2,30	2,15

Примечание: «g» — время генерации (кл/ч), «pH» — последний определенный показатель кислотности среды в условиях опыта; «-» — время генерации не рассчитывалось ввиду мицелиального роста штаммов; *Gl. antarctica* БИМ Y-381 в данных исследованиях не была использована ввиду отсутствия в доступе оборудования, оптимального для выращивания психрофильных культур.

среде совпадало с направлением изменения pH среды, полученным при росте в полужидкой питательной среде O/F теста.

Единого варианта изменения времени генерации между используемыми углеводами не было выявлено: у 7 штаммов происходило увеличение времени генерации в ряду глюкоза-сахароза-галактоза (*M. parantarcticus* БИМ Y-380, *L. fragarium* БИМ Y-363, *Leucosporidium* sp. БИМ Y-364, *Leucosporidium* sp. БИМ Y-377, *Sp. phaffii* БИМ Y-378, *Sp. phaffii* БИМ Y-372, *S. terricola* БИМ Y-373), у 6 культур в обратном ряду сахароза-галактоза-глюкоза (*Rh. glutinis* БИМ Y-369, *Sp. phaffii* БИМ Y-374, *Sp. phaffii* БИМ Y-370, *Sp. phaffii* БИМ Y-371, *C. ritchiei* БИМ Y-366, *C. ritchiei* БИМ Y-368), у 5 культур в ряду сахароза-глюкоза-галактоза (*M. parantarcticus* БИМ Y-365, *Naganishia* sp. БИМ Y-379, *Rh. glutinis* БИМ Y-375, *Rh. glutinis* БИМ Y-376, *Sp. phaffii* БИМ Y-367). При этом штаммы с одинаковой родовой принадлежностью находились в разных группах.

Следует отметить, что в условиях опыта минимальное время генерации при росте на углеводах у большинства штаммов учитывалось в первые 24 часа культивирования. Основное изменение показателей pH культуральной среды происходило в течение 24–48 часов культивирования дрожжей, дальнейшие изменения постепенно выходили на плато.

При анализе полученных результатов о росте культур на жидких и полужидких средах с глюкозой в качестве единственного источника углевода, **наиболее перспективными** в качестве продуцентов кислых продуктов метаболизма являлись культуры *Naganishia* sp. БИМ Y-379, *Rh. glutinis* БИМ Y-375, *D. cannabinae* БИМ Y-383, *M. parantarcticus* БИМ Y-380, *M. parantarcticus* БИМ Y-365, *Rh. glutinis* БИМ Y-376, *Sp. phaffii* БИМ Y-367, *Rh. glutinis* БИМ Y-369, *Sp. phaffii* БИМ Y-371 ввиду того, что основное падению значений pH среды наблюдалось уже в течение первых суток культивирования.

Согласно уравнению линии тренда, для снижения pH среды до значений 2,5–4, за счет образования кислых продуктом метаболизма в аэробных условиях культивирования, исследуемым штаммам необходимо утилизировать следующее количество глюкозы:

- 10–20 % *C. ritchiei* БИМ Y-368
- 20–30 % *Sp. phaffii* БИМ Y-372
- 30–40 % *Sp. phaffii* БИМ Y-370, *Sp. phaffii* БИМ Y-374, *L. fragarium* БИМ Y-363
- 40–50 % *Sp. phaffii* БИМ Y-371, *Rh. glutinis* БИМ Y-369, *S. terricola* БИМ Y-373, *C. ritchiei* БИМ Y-366, *Rh. glutinis* БИМ Y-375, *M. parantarcticus* БИМ Y-380
- 50–60 % *Sp. phaffii* БИМ Y-378, *Leucosporidium* sp. БИМ Y-364, *M. parantarcticus* БИМ Y-365, *Naganishia* sp. БИМ Y-379
- 60–70 % *M. gentianaе* БИМ Y-382, *Sp. phaffii* БИМ Y-367
- 70–80 % *D. cannabinae* БИМ Y-383, *Leucosporidium* sp. БИМ Y-377, *Rh. glutinis* БИМ Y-376

Наиболее **метаболически активными** были штаммы *D. cannabinae* БИМ Y-383, *Leucosporidium* sp. БИМ Y-377, *Rh. glutinis* БИМ Y-376, потребив более 70 % глюкозы. Большинство культур при утилизации глюкозы потребляет от 30 % до 60 % глюкозы с образованием кислых продуктов метаболизма.

Исследование утилизации глюкозы в анаэробных условиях культивирования

Как было сказано ранее, исследуемые штаммы антарктических дрожжей обладают метаболизмом преимущественно дыхательного типа и не способны осуществлять спиртовое брожение с выделением углекислого газа.

Для создания анаэробных условий поверх питательной среды настилали стерильное вазелиновое масло. Для работы были отобраны ряд штаммов дрожжей, утилизация глюкозы у которых происходила наиболее интенсивно в условиях разной аэрации, согласно результатам О/Ф теста (см. таблицу 4).

Таблица 4.

Изменения pH культуральной жидкости при анаэробной утилизации глюкозы (10 %)

Штаммы дрожжей	Время культивирования, ч		Температура культивирования, °C
	0	552	
<i>Naganishia</i> sp. БИМ Y-379	5,6–5,8	3,76	18
<i>L. fragarium</i> БИМ Y-363		5,17	18
<i>Leucosporidium</i> sp. БИМ Y-377		4,83	18
<i>Rh. glutinis</i> БИМ Y-375		3,47	18
<i>Rh. glutinis</i> БИМ Y-376		4,59	18
<i>Rh. glutinis</i> БИМ Y-369		4,44	18
<i>C. ritchiei</i> БИМ Y-366		4,63	18
<i>Sp. phaffii</i> БИМ Y-367		3,43	18
<i>Sp. phaffii</i> БИМ Y-371		4,37	18
<i>Sp. phaffii</i> БИМ Y-372		4,95	18
<i>S. terricola</i> БИМ Y-373		3,64	18
<i>Gl. antarctica</i> БИМ Y-381		5,08	10
<i>D. cannabinae</i> БИМ Y-383		4,83	22
<i>M. gentianaе</i> БИМ Y-382		4,63	28

Согласно литературным данным, в процессе брожения увеличения биомассы клеток не происходит, тоже касается и удельной скорости роста, которая остается на низком уровне на всем протяжении процессов брожения [28].

Газожидкостная хроматография

Продукты аэробной и анаэробной утилизации глюкозы культур *Naganishia* sp. БИМ Y-379 и *Rh. glutinis* БИМ Y-375 были взяты для проведения ГЖХ анализа (см. таблицу 5), так как падение значений pH на единицу и более происходило уже через 1 и 7 суток культивирования соответственно, чего не было выявлено у других исследуемых штаммов.

Качественный анализ кислот осуществляли методом добавочной пробы по времени удерживания. В экспериментах проверяли наличие следующих кислот: лимонная, яблочная, малоновая и уксусная.

Согласно результатам, штамм *Naganishia* sp. БИМ Y-379 накапливал все 4 исследуемые кислоты как в аэробных, так и анаэробных условиях (см. таблицу 5). Однако яблочной и лимонной кислоты образуется больше в анаэробных условиях. Дрожжи *Rh. glutinis* БИМ Y-375

Таблица 5.
Определение органических кислот и спиртов методом ГЖХ

Продукты метаболизма		Условия культивирования			
		<i>Rh. glutinis</i> БИМ У–375		<i>Naganishia</i> sp. БИМ У–379	
		аэробные	анаэробные	аэробные	анаэробные
Кислоты, %*	яблочная	6,366	9,031	11,447	15,670
	уксусная	3,318	3,326	8,739	8,198
	лимонная	1,398	6,589	2,540	4,874
	малоновая	0,105	1,089	0,907	0,755
Спирты, µg/ml	метанол	–	1,42028	–	3,81039
	этанол	9,22667	11,37744	3,14486	22,94434
	изопропанол	8,02016	5,32326	6,08598	3,27863
	пропанол	–	–	–	–
	изобутанол	–	–	–	4,90043
	бутанол	–	–	–	–
	изоамиловый спирт	–	3,47212	–	4,76252

Примечание: «*» — содержание кислот в пробе, от общего количества обнаруженных веществ.

в анаэробных условиях накапливали больше яблочной, лимонной и малоновой кислот (см. таблицу 5).

Результаты, свидетельствовали о том, что оба исследуемых штамма способны накапливать в процессе утилизации глюкозы этанол, при этом в анаэробных условиях его образуется на порядок больше (у *Naganishia* sp. БИМ У-379). Продукты брожения у обеих культур схожи с теми, которые обычно образуются при спиртовом брожении, но результаты исследований брожения с использованием трубок Дунбара не выявили образования углекислого газа.

Заключения

В исследовании проводился анализ способности утилизировать в аэробных и анаэробных условиях культивирования ряд углеводов антарктическими штаммами дрожжей, которые были выделены из различных экосистем Восточной Антарктиды. Проведенное исследование антарктических штаммов дрожжей выявило наличие метаболизма преимущественно дыхательного типа. Исследование спектра продуцируемых веществ методом газожидкостной хроматографии позволило выявить продукцию малоновой, яблочной, лимонной и уксусной кислот в аэробных и анаэробных условиях культивирования, а также этанола и изопропанола в аэробных условиях, метанола, этанола, изопропанола, изобутанола и изоамилового спирта в анаэробных условиях культивирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Rosa L.H. Fungi in Antarctica: diversity, ecology, effects of climate change, and bioprospection for bioactive compounds. / L.H. Rosa, C.L. Zani, C.L. Cantrell [et al.] // Fungi of Antarctica. Springer, Cham. — 2019. — P. 1–17.
- Selbmann L. Black yeasts in cold habitats. / L. Selbmann, G.S. de Hoog, L. Zucconi [et al.] // In: Cold-adapted yeasts. Springer, Berlin, Heidelberg. — 2014. — P. 173–189.
- Gomes E.C. Q. Fungi present in soils of Antarctica. / E.C.Q. Gomes, H.M. Figueredo, F.S. de Oliveira [et al.] // Fungi of Antarctica. Springer, Cham. — 2019. — P. 43–67.
- Brunati M. Diversity and pharmaceutical screening of fungi from benthic mats of Antarctic lakes. / M. Brunati, J.L. Rojas, F. Sponga [et al.] // Marine genomics. — 2009. — V. 2 (1). — P. 43–50.
- Furbino L.E. Diversity patterns, ecology and biological activities of fungal communities associated with the endemic macroalgae across the Antarctic Peninsula. / L.E. Furbino, V.M. Godinho, I.F. Santiago [et al.] // Microbial ecology. — 2014. — V. 67 (4). — P. 775–787.
- Archer S. D. Endolithic microbial diversity in sandstone and granite from the McMurdo Dry Valleys, / S.D. Archer, A. de los Ríos, K.C. Lee [et al.] // Antarctica. Polar Biol. — 2017. — V. 40 (5). — P. 997–1006.
- Coleine C. Sun exposure shapes functional grouping of fungi in cryptoendolithic Antarctic communities. / C. Coleine, L. Zucconi, S. Onofri [et al.] // Life. — 2018. — V. 8 (2). — P. 19.
- Coleine C. Endolithic fungal species markers for harshest conditions in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. / C. Coleine, N. Pombubpa, L. Zucconi [et al.] // Life. — 2020. — V. 10 (2). — P. 13.
- Meslier V. Endolithic microbial communities as model systems for ecology and astrobiology. / V. Meslier, J. DiRuggiero // Model Ecosystems in Extreme Environments. Academic Press. — 2019. — P. 145–168.
- Onofri S. Rock-inhabiting fungi and their role in deterioration of stone monuments in the Mediterranean area. / S. Onofri, L. Zucconi, D. Isola [et al.] // Plant Biosystems. — 2014. — V. 148 (2). — P. 384–391.
- Yeager C.M. Life on the edge: microbes in rock Varnish. / C.M. Yeager // Los Alamos National Lab. (LANL), Los Alamos, — 2019.
- Arenz B.E. Fungal diversity in Antarctic soils. / B.E. Arenz, R.A. Blanchette, R.L. Farrell // Antarctic terrestrial microbiology. Springer, Berlin, Heidelberg. — 2014. — P. 35–53.

13. Ruisi S. Fungi in Antarctica. / S. Ruisi, D. Barreca, L. Selbmann [et al.] // *Revs Envir. Sci. Bio/Tech.* — 2007. — V. 6 (1–3). — P. 127–141.
14. da Silva T.H. Antarctic permafrost: an unexplored fungal microhabitat at the edge of life. / T.H. da Silva, D.A.S. Silva, A. Thomazini [et al.] // *Fungi of Antarctica.* Springer, Cham. — 2019. — P. 147–164.
15. Shivaji S. Antarctic yeasts: biodiversity and potential applications. / S. Shivaji, G.S. Prasad // *Yeast biotechnology: Diversity and applications.* Springer, Dordrecht, — 2009. — P. 3–18.
16. Connell L.B. Cold-adapted yeasts in Antarctic deserts. / L.B. Connell, R.R. Rodriguez, R.S. Redman [et al.] // *Cold-adapted yeasts.* Springer, Berlin, Heidelberg. — 2014. — P. 75–98.
17. Buzzini P. Psychrophilic yeasts from worldwide glacial habitats: diversity, adaptation strategies and biotechnological potential. / P. Buzzini, E. Branda, M. Goretti [et al.] // *FEMS Microbiol. Ecol.* — 2012. — V. 82 (2). — P. 217–241.
18. Frisvad J. C. Fungi in cold ecosystems. / J.C. Frisvad // *Psychrophiles: from biodiversity to biotechnology.* Springer, Berlin, Heidelberg, — 2008. — P. 137–156.
19. Zhang T. Diversity and cold adaptation of culturable endophytic fungi from bryophytes in the Fildes Region, King George Island, maritime Antarctica. / T. Zhang, Y.Q. Zhang, H.Y. Liu [et al.] // *FEMS Microbiol. Lett.* — 2013. — V. 341 (1). — P. 52–61.
20. Panikov N.S. Subzero activity of cold-adapted yeasts. / N.S. Panikov // *Cold-adapted Yeasts.* Springer, Berlin, Heidelberg, — 2014. — P. 295–323.
21. Selbmann L. Antarctic epilithic lichens as niches for black meristematic fungi. / L. Selbmann, M. Grube, S. Onofri [et al.] // *Biology.* — 2013. — V. 2 (2). — P. 784–797.
22. Yung C.C. Characterization of chasmoendolithic community in miers valley, Mcmurdo dry valleys, antarctica. / C.C. Yung, Y. Chan, D.C. Lacap [et al.] // *Microbial Ecol.* — 2014. — V. 68 (2). — P. 351–359.
23. Panikov N.S., Microbial activity in soils frozen to below –39 °C. / N.S. Panikov, P.W. Flanagan, W.C. Oechel [et al.] // *Soil Biol. Biochem.* — 2006. — V. 38 (4). — P. 785–794.
24. Никитин Д.А. Экологические особенности грибов Антарктиды / Д.А. Никитин // *Микология и фитопатология.* — 2021. — Т. 55. — №. 2. — С. 79–104.
25. Griбанова Е.А. Physiological and biochemical traits of yeasts from soils of various ecosystems of East Antarctica / Е.А. Griбанова, V.E. Miamin // *Ukrainian Antarctic journal.* — 2021. — № 2. — P. 106–116.
26. Грибанова Е.А. Молекулярно-биологическая идентификация дрожжей, выделенных из различных экосистем Восточной Антарктики / Е.А. Грибанова, Е.В. Охремчук, А.Е. Семенчукова, Ю.Г. Гигиняк, В.Е. Мямин // *Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты, Минск, 6–9 июня 2023 г.: материалы XIII Междунар. научн. конф. / орг. ком. конф.: А.А. Шепшелев (пред.) и [др.]. — Минск: Беларуская навука, 2023. — С. 39–40.*
27. Грибанова Е.А. Разнообразие и биотехнологический потенциал дрожжей, выделенных из различных экосистем Восточной Антарктиды / Е.А. Грибанова, Е.В. Охремчук, А.Е. Семенчукова, В.Е. Мямин // *Природная среда Антарктики: сб. материалов V Международной научно-практической конференции, аг. Каменюки, Брестская область, 25–27 сент. 2024 г. / редкол.: В.Ф. Логинов, С.А. Лысенко, В.А. Рыжиков, Ю.Г. Гигиняк. — Минск: ИВЦ Минфина, 2024. — С. 90–93.*
28. Качмазов Г.С. Дрожжи бродительных производств. Практическое руководство. — 2012.

© Грибанова Екатерина Александровна (lika-den98@mail.ru)
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СПЕЦИФИКА МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ РАЗЛИВЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ

THE SPECIFICS OF THE MIGRATION OF POLLUTANTS IN VEGETATION DUE TO AN EMERGENCY SITUATION DURING A SPILL OF PETROLEUM PRODUCTS

R. Saifiev
E. Gayevaya
Yu. Sivkov

Summary. The objective reasons for the growth of oil production and the production of petroleum products around the world have created an acute problem of the toxicity of hydrocarbon pollutants facing environmentalists. Possible accidental oil spills are a widespread problem in achieving ecosystem sustainability. Pollution of natural ecosystems with petroleum products is of serious concern, since it destroys the structure of the soil, reducing its ability to biodegrade, and has a toxic effect on biota and human health.

To predict the degree of impact of possible accidental oil product spills on the components of the natural environment, it is necessary to know the mechanisms of filtration and migration of oil pollutants.

The work shows the stages of migration of the pollutant in plant communities and discusses measures to enhance phytoremediation of hydrocarbon spills. As phytoremediation measures, it is proposed to use a microbial complex of hydrocarbon-oxidizing and nitrogen-fixing microorganisms, planting genetically modified plants at the site of an emergency spill.

Keywords: petroleum products, migration, phytoremediation, plant communities, accidental hydrocarbon spills.

Сайфиев Руслан Ринатович

Кандидат биологических наук, доцент,
Тюменский Индустриальный Университет
sajfievrr@tyuiu.ru

Гаевая Елена Викторовна

Кандидат биологических наук, доцент,
Тюменский Индустриальный Университет

Сивков Юрий Викторович

Кандидат биологических наук, доцент,
Тюменский Индустриальный Университет

Аннотация. Объективные причины роста добычи нефти и производства нефтепродуктов по всему миру создали остро стоящую перед экологами проблему токсичности углеводородных загрязнений. Возможные аварийные разливы нефтепродуктов являются широко распространенной проблемой в достижении устойчивости экосистем. Загрязнение природных экосистем нефтепродуктами вызывает серьезную озабоченность, поскольку оно разрушает структуру почвы, снижая ее способность к биологическому разложению, оказывает токсичное влияние на биоту и здоровье человека.

Для прогнозирования степени воздействия возможных аварийных разливов нефтепродуктов на компоненты природной среды, необходимо знать механизмы фильтрации и миграции нефтяных загрязнителей.

В работе показаны стадии миграции загрязнителя в растительных сообществах, обсуждены меры активизации фиторемедиации разливов углеводородов. В качестве мер фиторемедиации предложено использования микробного комплекса углеводородокисляющих и азотфиксирующих микроорганизмов, высаживание генномодифицированных растений на месте аварийного разлива.

Ключевые слова: нефтепродукты, миграция, фиторемедиация, растительные сообщества, аварийные разливы углеводородов.

Введение

Рост урбанизации, увеличение населения планеты, рост экономик требует увеличение энергетических ресурсов, расширения добычи и переработки нефти, что сопряжено с вопросами ее транспортировки и производства широкого спектра нефтепродуктов, которые в свою очередь имеют риски аварийных ситуаций, разлива сырой нефти и нефтепродуктов, являющихся источником существенного загрязнения окружающей среды [1].

Аварийные разливы нефтепродуктов на сухопутные территории являются относительно обычным явлением вследствие человеческого фактора, износа эксплуата-

ционных скважин, прорывов трубопроводов и автоцистерн, транспортными авариями, а также природными катаклизмами, обуславливающими эти поломки. Эксперты оценивают средний объем безвозвратных потерь нефти и нефтепродуктов до 7 % от всего количества добытого ресурса вследствие аварийных разливов, что не только наносит вред природной среде, но и приводит к материальным потерям [2].

Нефтепродукты признаны одними из самых распространенных и опасных техногенных загрязнителей. Последствия загрязнения природных экосистем (почвенных и водных) нефтепродуктами имеют негативные последствия для биоты. Это объясняется способностью углеводородов образовывать токсичные соединения

в почвах, поверхностных и подземных водах, вызывать непосредственную деградацию почвенного покрова на участках аварийного разлива, перемещаться по звеньям трофических цепей, в результате чего нефтепродукты и их метаболиты зачастую обнаруживаются в различных объектах биосферы [3]. Влияние загрязнений нефтепродуктами на окружающую среду очень велико и носит комплексный характер [4]. При непринятии своевременных мер к устранению аварийного загрязнения оно может распространиться в глубокие слои почвы, оседать на дне водоемов, что может нарушить газовый обмен животного и растительного мира [5].

Дальнейшее перемещение нефтяных загрязняющих компонентов связана с солюбилизацией, биодеградацией, адсорбцией/десорбцией отложений и взвешенных частиц, разбавлением в водоемах, накоплением в клетках организмов и трансформацией [6].

Организмы проявляют выраженную способность накапливать в своих клетках и тканях загрязняющие вещества и продукты их трансформации [7], которые могут оказать как прямое ингибирующее влияние на метаболические особенности организма, так и не прямое, обусловив формирование патогенных мутаций [8]. Мутационный эффект нефтезагрязнений доказан и продемонстрирован на примере биотестирования с использованием прокариотических и эукариотических организмов [9].

Большую роль в миграционных процессах загрязняющих веществ играет растительное сообщество, имеющее тесные взаимосвязи с почвой и с микроорганизмами почвы, ризосферы и микоризы [9].

Взаимодействие растений и микроорганизмов имеет решающее значение для борьбы с нефтяным загрязнением в природных экосистемах. В составе данного сотрудничества происходит преобразование и восстановление экосистемы, пострадавшей от нефтяного загрязнения. Растения и микроорганизмы совместно разлагают углеводороды благодаря уникальным ферментативным способностям, чем способствуют естественному очищению экосистем и устойчивости их развития даже в условиях аварийного загрязнения. Данное партнерство может повышать эффективность проводимых мероприятий по фиторемедиации [11]. С другой стороны, в условиях тотального загрязнения природных экосистем, высокой интенсивности и масштабности химического и нефтяного загрязнения на территориях, подвергнутых разливам нефтепродуктов и деградации, возникает необходимость исследования процессов биогеохимической миграции загрязняющих веществ в системе «почва — растение» [12, 13]. Для прогнозирования степени воздействия возможных аварийных разливов нефтепродуктов на компоненты природной среды, необходимо знать механизмы фильтрации и миграции не-

фтяных поллютантов. Результаты таких исследований дают возможность выявить и спрогнозировать негативные изменения в природных экосистемах, разработать научно обоснованные рекомендации для оптимизации состояния растений и почвенного покрова при разливах нефтепродуктов.

Материалы и методы

Объектом исследования были выбраны работы зарубежных и отечественных авторов посвященные вопросам миграции нефтяных поллютантов в растительных организмах и сообществах.

В ходе исследования применялись методы систематизации и сравнительного анализа. На основе анализа литературных данных выделены специфические особенности миграции поллютантов в растительном покрове вследствие возникновения аварийных ситуаций при разливе нефтепродуктов и предложены меры по локализации загрязнений нефтепродуктами и фиторемедиации поврежденных растительных сообществ.

Результаты и обсуждение

Естественное разложение нефтезагрязнений, полициклических углеводородов, стойких высокомолекулярных соединений в почвах длится много лет. Другов Ю. С. В своей работе показал, что скорость самоочищения почв доходить до 10 лет [14]. Выделяют три стадии процесса самоочищения почвы: первая стадия — это выщелачивание, выветривание и распределение нефтяных углеводородов по почвенному профилю; вторая стадия сводится к биологической трансформации метанонафталина и ароматических углеводородов; третья стадия — разложение полициклических ароматических соединений. На основании натурных исследований, проводимых исследователями экспериментов и опубликованных результатов, были систематизированы сведения о механизмах миграции нефтезагрязнений.

Загрязнение почвы неизбежно приводит к загрязнению прилегающих сред. После аварийного разлива нефтепродуктов авторы визуально отмечают угнетение растительности, возникновение стойкого характерного масляного запаха, изменение цвета почвы. Эти изменения сохраняются в течение нескольких дней, при этом происходит интенсивное испарение легкой фракции углеводородов.

Спустя неделю, на месте разлива наблюдается полное разрушение всех почвенных микроорганизмов и животных; ингибирование роста, депрессия надземной и корневой воздушно-сухой биомассы растений; ощущается характерный запах нефтепродуктов; остается четкое маслянистое пятно глубиной до 0,40 м. Для этого периода ха-

рактрно значительное остаточное содержание нефтепродуктов в почве, которая фиксируется лабораторными исследованиями. При этом авторы экспериментальных исследований утверждают, что остаточное содержание нефтепродуктов в почвах двух участков с различающимся разливом нефти по объему в два раза, на этом периоде была одинаковой [15]. Эти результаты объясняются процессами сорбции нефтепродуктов частицами почвы и растительными объектами. Растения способствуют сорбции загрязнений, выделяя химические вещества, иммобилизующие загрязнения в области корня [16].

В экспериментах выращивания кукурузы (однодольное растение с мочковатой корневой системой) и эспарцета (двудольное растение со стержневой корневой системой) в период от 18 до 100 дней после разлива был обнаружен эффект фиторемедиации. Уровень углеводов в пробах почвы снижался на 55–95 %, при этом более активно подвергалась утилизации смесь углеводов в сравнении с керосином. Установлено, что одним из основных механизмов фиторемедиации является стимуляция микробиологической активности почвы [17].

Испарение легких фракций, обладающих наибольшим токсическим эффектом и оказывающими максимальный ингибирующий эффект на биоту, приводит к повышению численности углеводородокисляющих микроорганизмов. В зависимости от почвенно-климатических условий и состава нефти этот период варьирует от нескольких месяцев до 1,5 лет [18]. В этот период рост растений после разлива нефтезагрязнений подавлен, присутствует стойкий запах углеводородов, почва имеет четкие границы залегания нефтепродуктов [14].

В основе фиторемедиации лежат процессы жизнедеятельности растений, которые ведут к деградации загрязнителя, его удалению (через аккумуляцию или испарения) или иммобилизации. В основе фитоаккумуляции лежит захват нефтезагрязнений корнями растения и его последующие перенос и накопление в побегах растения и его листьях (фитоэкстракция) [16]. Некоторые растения проявляют особую способность к сорбции нефтепродуктов, активации углеводородокисляющих микроорганизмов и, как следствие, высокой эффективности фиторемедиации загрязненных почв. К таким растениям относятся тополь дельтовидный, морковь обыкновенная, соя, просо прутьевидное, колосняк канадский, соргаструм поникающий, овсяница красная и другие растения [19]. Хорошие результаты в экспериментальной фиторемедиации показала галега восточная, которая совместно с бактериями *Rhizobium galegae* и бактериями, стимулирующими рост растений путем азотфиксации, способна восстанавливать почвы, загрязненные нефтепродуктами [20].

Подобно фитоэкстракции растения развивают корневые системы, потребляющие загрязнений, обеспечи-

вая ризофильную загрязненной почвы. Окончательным этапом фиторемедиации является фитодеструкция метаболитов нефтяных ксенобиотиков внутри побегов растений благодаря активному синтезу ферментов, усиливающих окислительное разложение углеводов.

В целом, следует отметить, что загрязнение нефтепродуктами почвенных экосистем снижает для растений доступность воды и питательных веществ, уплотняет почву, напрямую влияя на рост и развитие растений. Могут наблюдаться различные аспекты фитотоксичности, которые варьируются в зависимости от характеристик почвы и обитающих в данном месте растений. Загрязненная почва также оказывает негативное воздействие на биомассу растения, изменяя дыхание листьев и корней. Исследование влияния загрязнения углеводородами на рост и развитие растений может помочь в сохранении видов растений и в совершенствовании таких методов, как фиторемедиация и биомониторинг.

В качестве мер интенсификации фиторемедиационной способности растительных сообществ могут применяться препараты бактерий, актинобактерий и грибов, обладающих выраженной способностью ферментировать углеводороды, защищающих корневую систему растений от токсичного эффекта нефтезагрязнений и усиливающих питание и дыхание корневых систем за счет азотфиксации. Кроме того, на территориях, подвергнутых значительным объемам загрязнений вследствие разливов нефтепродуктов, для фиторемедиации могут быть высеяны семена генномодифицированных растений, способных выживать при высоких концентрациях углеводородов.

Заключение

Токсичность и мутагенность нефтяных загрязнений для живых организмов не вызывает у исследователей сомнений. Однако, исследования ремедиационной способности растений требует проведения дополнительных изысканий и постановки экспериментов. Миграция нефтяных загрязнений в растительном покрове вследствие возникновения аварийных ситуаций при разливе нефтепродуктов происходит по нескольким векторам: от корней к листьям растений, от поверхности корня в ризосферу. От ризосферы растения метаболиты углеводов диффундируют в почву, активируя сообщество углеводородокисляющих микроорганизмов, совместные синтетические и энзиматические усилия которых с растениями способствуют снижению негативного эффекта, разрушению и окислению углеводов.

Изучение процессов трансформации углеводов в различных условиях окружающей среды будет способствовать формированию и расширению знаний при проведении восстановительных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Xie G. Does Oil Production Increase Pollution? / G. Xie // Thesis for: International Political Economy Advisor: George Shambaugh. — 2019.
2. Сидоров Д.В. Влияние аварийных разливов нефти на почвы/ Д.В. Сидоров// Вестник науки. 2020. №12 (33). С. 161–163.
3. Никонов А.Н., Потапова С.О. Нефтяная промышленность, как один из серьезных загрязнителей окружающей среды // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. №9. С. 666–673.
4. Двадненко М.В., Маджигатов Р.В., Ракитянский Н.А. Воздействие нефти на окружающую среду // Международный журнал экспериментального образования. 2017. № 3–1. С. 89–90.
5. Marquès M. Health risks for the population living near petrochemical industrial complexes. 2. Adverse health outcomes other than cancer / M. Marquès, J.L. Domingo, M. Nadal et al // Sci. Total Environ. 2020. 730. P. 139122.
6. Валиев В.С., Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р. Нефтяные углеводороды в донных отложениях: состав, идентификация, механизмы трансформации (обзор) // Российский журнал прикладной экологии. 2020. №1 (21).
7. Yang Y. Sharply and simultaneously increasing pollutant accumulation in cells of organisms induced by rare earth elements in the environment of Nanjing/ Y. Yang, M. Cheng, Q. Zhou, L. Wang // Chemosphere. 2022. 311(Pt 1). P.136823
8. Исмаилов Н.М., Гасимова А.С. Самоочищающая способность почв от нефти и нефтепродуктов в зависимости от структуры углеводородов // Аридные экосистемы. 2016. №4 (69). С. 73–80.
9. Alabi O.A. Comparative chemical analysis, mutagenicity, and genotoxicity of Petroleum refinery wastewater and its contaminated river using prokaryotic and eukaryotic assays / Okunola Adenrele Alabi // Comparative Study Protoplasma. 2023. 260(1). P.89–101.
10. Прилепский А.С. Влияние антропогенной деятельности на почвенные микроорганизмы/ А.С. Прилепский // Научный журнал молодых ученых. 2023. №4 (34). С. 23–28.
11. Hassan M.H. Microbial-Plant Interactions and Their Role in Mitigating of Oil Pollution: A Review/ M.H. Hassan, A. Sarwari, A.W. Monib, P. Niyazi // European Journal of Theoretical and Applied Sciences. 2024. 2(2). P.11–22.
12. Михайлова, Т.А. Биогеохимическая миграция элементов-загрязнителей в урбозкосистеме/ Т.А. Михайлова, О.В. Шергина // Теоретическая и прикладная экология. 2010. №3. С. 27–32.
13. Gong P. Persistent organic pollutants cycling in forests/ P. Gong, H. Xu, C.W. Wang, Y. Chen, L. Guo, X. Wang // Nature Reviews Earth & Environment. 2021. 2. P.182–197
14. Sivkov Y. Study of Oil Migration Processes in Meadow Soils /Y. Sivkov, A. Nikiforov, N. Fefilov// Journal of Ecological Engineering Received. — 2019. 20, 5. P. 23–26
15. Другов Ю.С. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов: практическое руководство / Ю.С. Другов, А.А. Родин. — 3-е изд., электрон. — Москва: Лаборатория знаний, 2020. — 273 с. — Текст: электронный.
16. Сакаева, Х.А. Комплексное воздействие растительности на улучшении почв загрязненных нефтью и нефтепродуктами / Х.А. Сакаева// Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 159–163.
17. Шаронова, Н.Л. Эффект фиторемедиации на выщелоченном черноземе, загрязненном жидкими углеводородами /Н.Л. Шаронова, И.А. Яппаров, А.М. Ежкова, Г.Ф. Рахманова // Агрехимический вестник. 2015. № 6. С. 22–25.
18. Баландина А.В., Кузнецов Д.Б., Бурдова Л.В. Самовосстановление нефтезагрязненных почв // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 85–88.
19. Юнусова Д.М., Елизарьева Е.Н. Очистка почвы от нефтяных загрязнений с помощью растений // Форум молодых ученых. 2016. №4. С. 1110–1113.
20. Kaksonen, A. Rhizosphere effect of Galega orientalis in oil-contaminated soil/ A. Kaksonen, M.M. Jussila, K. Lindström, L. Suominen // Soil Biology and Biochemistry. 2006. 38(4). P.817–827.

© Сайфиев Руслан Ринатович (sajfievr@tyuiu.ru); Гаева Елена Викторовна; Сивков Юрий Викторович
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ КАК ОСНОВА САМООБУЧАЮЩЕЙСЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ БАНКОВ: МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИЕНТСКОГО ПОВЕДЕНИЯ И УЧЁТ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Аскеров Заур Ханахмедович

Аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
zaur_askerov_1998@mail.ru

SYNTHETIC DATA AS A FOUNDATION FOR A SELF-LEARNING RECOMMENDER SYSTEM IN BANKING: MODELING CLIENT BEHAVIOR AND MACROECONOMIC FACTORS

Z. Askerov

Summary. The development of modern intelligent recommender systems in the banking sector is constrained by limited access to real customer data due to legal and ethical concerns. This paper presents a methodological framework for building a self-learning recommender system based on the comprehensive generation of synthetic data. The system architecture includes a multi-agent model that simulates transactional, deposit, and investment behaviors of clients. Data generation incorporates language models, stochastic processes, and procedural simulations based on behavioral profiles. Special emphasis is placed on integrating macroeconomic indicators (exchange rates, commodity prices, interest rates) into the synthetic environment to recreate realistic scenarios of financial instability. A visual and statistical analysis of the generated dataset confirms its adequacy for training neural network models and reinforcement learning algorithms. The proposed approach ensures reproducibility, scalability, and data privacy in the development of AI-powered financial systems.

Keywords: synthetic data, recommender systems, reinforcement learning, multi-agent simulation, banking technology, client anomaly detection, macroeconomic indicators, data generation, behavioral modeling, intelligent systems.

Аннотация. Разработка современных интеллектуальных рекомендательных систем в банковской сфере сталкивается с ограниченным доступом к реальным клиентским данным, обусловленным юридическими и этическими барьерами. В данной работе предложен методологический подход к созданию самообучающейся рекомендательной системы, основанный на комплексной генерации синтетических данных. Представлены архитектура системы и структура мультиагентной модели, имитирующей транзакционное, депозитное и инвестиционное поведение клиентов. Генерация данных осуществляется с использованием языковых моделей, стохастических процессов и процедурного моделирования на основе поведенческих профилей. Отдельное внимание уделено интеграции макроэкономических индикаторов (курсы валют, цены на сырьё, процентные ставки) в синтетическую среду для формирования реалистичных сценариев финансовой нестабильности. Проведён визуальный и статистический анализ сгенерированной выборки, подтверждающий её пригодность для обучения нейросетевых моделей и алгоритмов обучения с подкреплением. Предложенный подход обеспечивает воспроизводимость, масштабируемость и безопасность данных при разработке финансовых ИИ-систем.

Ключевые слова: синтетические данные, рекомендательные системы, обучение с подкреплением, мультиагентное моделирование, банковские технологии, аномальное поведение клиентов, макроэкономические факторы, генерация данных, имитационное моделирование, интеллектуальные системы.

Введение

В последние годы в банковской сфере наблюдается рост интереса к интеллектуальным системам, способным обеспечивать персонализированное обслуживание клиентов. В условиях высокой конкуренции, экономической нестабильности и резких макроэкономических колебаний банки стремятся предлагать не просто продукты, а адаптивные рекомендации, учитывающие поведение конкретного клиента. При этом традиционные рекомендательные алгоритмы на основе коллаборативной или контентной фильтрации демонстрируют недостаточную устойчивость к нестандартным ситуациям.

Особую актуальность приобретает задача создания самообучающихся систем, способных обнаруживать аномалии в поведении клиентов, учитывать макроэкономическую обстановку и подстраиваться под изменение предпочтений пользователей. Такая система должна не только учитывать исторические данные, но и эффективно реагировать на внешние кризисные факторы, изменяющие поведение клиентов в режиме реального времени.

Цель исследования — разработка адаптивной рекомендательной системы, устойчивой к аномальному поведению и чувствительной к динамике макроэкономической среды. Основной акцент сделан на исполь-

зовании синтетических данных для моделирования различных сценариев, а также применении методов обучения с подкреплением и детекции аномалий.

Теоретико-методологические основы

Рекомендательные системы применяются в банках для повышения точности маркетинговых предложений, управления рисками и оптимизации клиентского опыта. Наиболее распространены [1]:

- Контентные методы (profile-based)
- Коллаборативная фильтрация
- Гибридные подходы.

Современные исследования (Wu & Li, 2025; Hernández et al., 2018) выделяют тенденции к переходу от статических моделей к самообучающимся архитектурам, чувствительным к контексту и изменениям среды. В условиях кризиса или инфляции рекомендательная система должна динамически адаптировать стратегии под текущие условия [2].

Выявление аномального поведения — ключевая задача в финансовой аналитике. Используемые методы [3]:

- Isolation Forest — быстро изолирует редкие случаи
- AutoEncoder — фиксирует высокую ошибку восстановления при отклонениях
- One-Class SVM — строит границу нормального класса
- Графовые методы — ищут отклонения в структуре взаимодействий
- Комбинированные ансамбли — объединяют подходы для повышения точности.

Кризисные события (всплеск снятия вкладов, массовые переводы) требуют переобучения моделей и внедрения макроэкономических регуляторов внутри детектора [4].

Синтетическая генерация данных используется в случаях [5]:

- отсутствия доступа к реальным транзакциям;
- необходимости масштабируемых обучающих выборок;
- воспроизведения нестандартных сценариев (кризисы, фрод);
- защиты персональных данных [6].

Генерация может производиться с помощью [7]:

- стохастических моделей (нормальные, экспоненциальные распределения);
- LLM-моделей (например, GPT);
- мультиагентных симуляций с поведенческими профилями;
- GAN-сетей.

Методология генерации синтетических данных для имитации поведенческих сценариев

Разработка синтетического датасета стала ключевым этапом в построении самообучающейся рекомендательной системы. Учитывая невозможность использования реальных клиентских данных в силу регуляторных ограничений и вопросов конфиденциальности, было принято решение реализовать полнофункциональную архитектуру данных на основе искусственно сгенерированных наблюдений, сохраняющих внутреннюю бизнес-логику и структурные зависимости, характерные для розничного банковского сектора [8].

Процесс генерации данных включал несколько взаимодополняющих подходов, каждый из которых использовался для различных подсистем будущей модели [9]:

1. Стохастическое моделирование

Для числовых атрибутов, таких как суммы транзакций, вклады и объёмы инвестиций, применялись параметрические распределения, в первую очередь нормальные и логнормальные. Это позволило воссоздать реалистичное распределение финансовой активности, включая наличие «длинного хвоста» — характерного признака эмпирических данных в банковской практике [10].

2. Генеративные языковые модели (LLM)

Для семантических атрибутов (категории расходов, наименования получателей, событийные описания и др.) применялась языковая модель GPT (версии 4), адаптированная под задачи синтетической генерации. Модель использовалась как инструмент создания текстовых меток и категорий в соответствии с заданными шаблонами клиентского поведения, обеспечивая при этом разнообразие и правдоподобие лексических конструкций [11].

3. Мультиагентное моделирование

Для моделирования клиентского поведения применялась концепция поведенческих профилей, реализуемая через мультиагентную симуляцию. Каждому клиенту приписывался один из сценариев — «пассивный вкладчик», «активный потребитель», «инвестор», «реактивный клиент» и т.п., в рамках которых генерировалась временная последовательность событий, транзакций и инвестиций. Таким образом, создавалась динамика поведения, позволяющая обучать модель на последовательностях, имитирующих реальные жизненные циклы клиентов.

4. Генеративно-состязательные сети (GAN)

Для финансово-временных рядов (например, `currency_rates`, `precious_materials_prices`) применялись

GAN-модели, специально обученные на исторических данных с добавлением случайных трендов и волатильностей. Это обеспечило достоверную имитацию макроэкономических сценариев, включая резкие скачки курсов и нестабильность на сырьевых рынках [12].

Формирование и роль синтетических данных в обучении рекомендательной системы

Интеграция этих методов была реализована с сохранением связности данных, что подтверждается представленной ER-диаграммой (рисунок 1). Все таблицы связываются по идентификатору клиента (ID клиента) и, при необходимости, по временной метке (Дата, Дата и время), что обеспечивает возможность сквозного поведенческого анализа. Такие связи являются основой для

построения сложных признаков пространств и позволяют применять алгоритмы обучения с подкреплением, где состояние среды определяется одновременно поведенческими и макроэкономическими факторами.

Сформированная структура данных охватывает как микроуровень клиентской активности (транзакции, депозиты, инвестиции), так и макроуровень (валютные колебания, ценовые изменения на сырье), что создаёт богатую среду для адаптивной логики модели. Более того, включение таблицы событий (event_history) позволяет учитывать контекстные изменения, такие как обращения в поддержку или изменение персональных данных, усиливая поведенческую осведомлённость модели.

При этом особое внимание уделялось сохранению внутренней логики данных, временной непротиворечи-

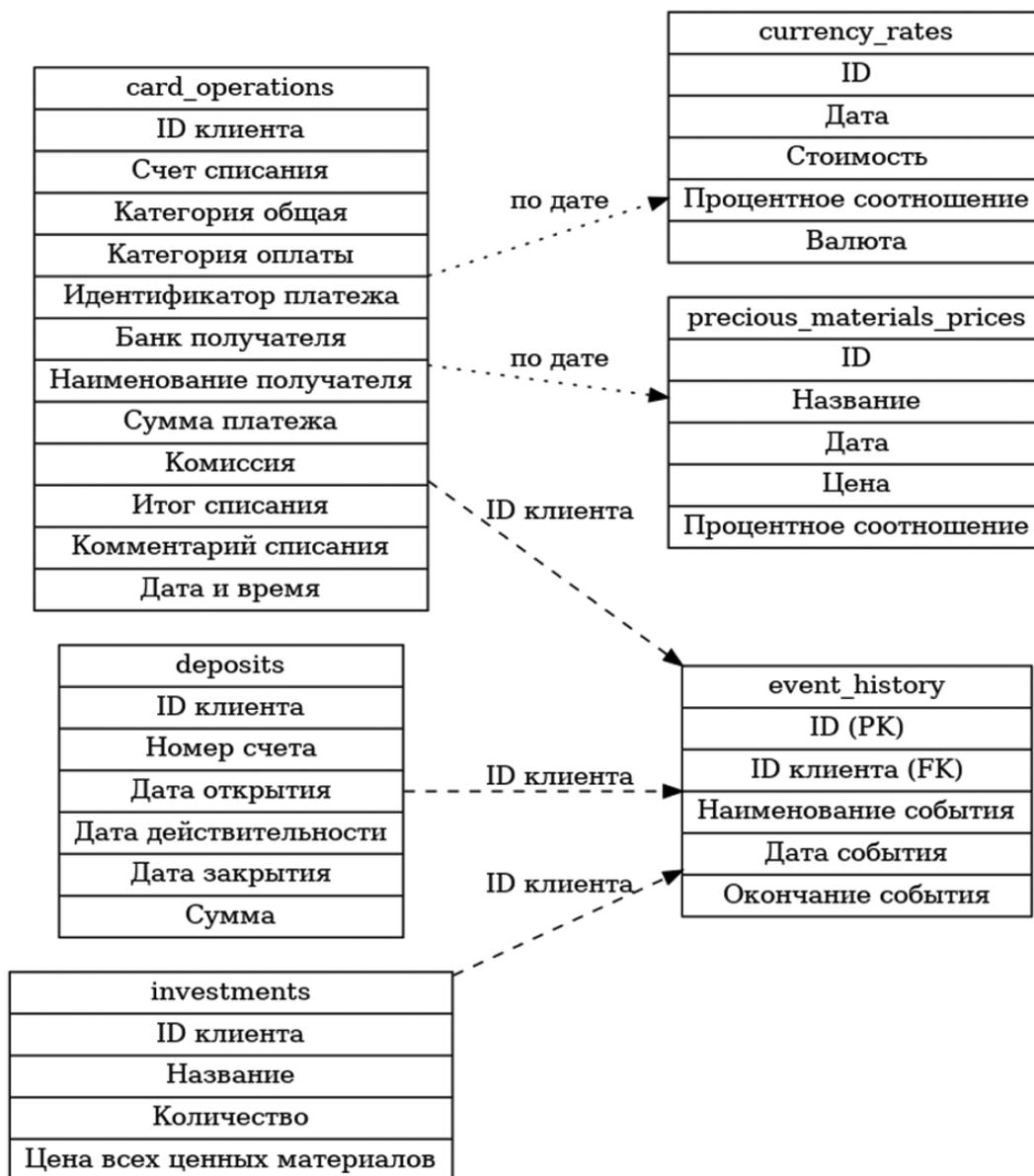


Рис. 1. ER-диаграмма синтетической базы данных

ности и реалистичному распределению признаков. Конструкция синтетической базы включает более 100 000 записей и охватывает следующие тематические блоки:

- Транзакционная активность (*card_operations*) — отражает повседневные расходы клиентов и используется для выделения поведенческих паттернов, построения профилей и оценки отклонений от нормы.
- Депозитные продукты (*deposits*) — позволяют моделировать склонность клиентов к сберегательному поведению, что критически важно при оценке финансовой устойчивости.
- Инвестиционные действия (*investments*) — представляют разнообразие стратегий вложений и дают возможность разделения клиентов по уровню терпимости к риску.
- История событий (*event_history*) — включает неоперационные изменения, такие как обновление данных, обращения в поддержку и т.п., что дополняет поведенческий портрет.
- Макроэкономические факторы (*currency_rates*, *precious_materials_prices*) — отражают влияние курсов валют и стоимости сырья, выступая внешними переменными для модуля адаптации рекомендаций в условиях кризисов.

Каждая таблица связана с другими через единый идентификатор клиента, что позволяет строить интегрированные вектора признаков. Кроме того, данные организованы так, чтобы быть пригодными как для классического обучения, так и для обучения с подкреплением, где каждое действие агента вызывает реакцию в среде, смоделированной на базе этих данных.

Для оценки качества и пригодности сгенерированного массива была проведена серия визуализаций, направленных на верификацию поведенческой правдоподобности и достаточной гетерогенности выборки. В частности, по данным транзакций построены рейтинги клиентов по числу операций, средним расходам и объёму инвестиций. Эти графики продемонстрировали наличие «длинного хвоста» в распределении активности, что характерно для реальных банковских выборок. Также выделены явные различия между клиентами, что создаёт хорошую основу для кластеризации и дальнейшей персонализации рекомендаций.

Особенно важным оказалось то, что в синтетической базе удаётся смоделировать не только типичное, но и нетипичное поведение: единичные крупные переводы, резкие скачки расходов, досрочные закрытия вкладов. Это позволяет использовать датасет для обучения моделей детекции аномалий (например, *Isolation Forest* и *AutoEncoder*), а также для генерации сценариев, в которых RL-агенты должны принимать решения в условиях неопределённости и риска.

Анализ распределений по транзакциям, инвестициям и количеству событий подтвердил: данные обладают реалистичной неоднородностью и допускают построение поведенческих кластеров. Это критически важно, поскольку обучение модели на таких кластерах позволяет учесть разнообразие стратегий пользователей, а не усреднённый портрет. Модели RL, использующие такие данные как среду, могут взаимодействовать с «реалистично» ведущими себя агентами и тестировать гипотезы в условиях, приближенных к настоящим.

Обучение с подкреплением (RL) применяется для динамической адаптации рекомендаций:

- Агент выбирает действия (рекомендации), получая вознаграждение
- Среда — поведение клиента и макроэкономические условия
- Цель — максимизация долгосрочной полезности (NPV, ROI, удержание)

Модели:

- Q-learning, Deep Q Networks (DQN)
- Actor-Critic, PPO
- Multi-Agent RL (маркетинг, кредитование)

Преимущества RL:

- адаптация к изменению предпочтений;
- персонализация;
- обучение без необходимости ручной разметки.

Сценарии применения:

- рекомендация инвестиционных стратегий в условиях инфляции
- подбор кредитного лимита при нестабильном доходе
- рекомендации по снижению расходов в период спада

Для соответствия требованиям регуляторов и обеспечения доверия к модели необходима интерпретация предсказаний. Используются:

- SHAP, LIME
- Feature importance для деревьев и лесов
- визуализация ошибок автоэнкодера

Метрики качества:

- Precision / Recall / F1-score
- ROC-AUC, PR-AUC
- Средние потери, false positive rate

Формирование и роль синтетических данных в обучении рекомендательной системы

На этапе подготовки обучающей выборки особое внимание было уделено оценке реалистичности и репрезентативности синтетически сгенерированных дан-

ных. Поскольку модель рекомендательной системы ориентирована на поведенческий анализ и адаптацию под различающиеся сценарии клиентской активности, критически важной задачей стало обеспечение достаточной структурной неоднородности и вариативности данных. Это требование обусловлено как спецификой банковского сектора, так и характером применяемых методов машинного обучения, в том числе нейросетевых архитектур и моделей обучения с подкреплением.

Для верификации качества сгенерированных данных был проведён визуальный анализ ключевых параметров клиентского поведения. На рисунке 2 приведены диаграммы, отражающие распределение различных метрик, по которым оценивается состоятельность модели и возможность извлечения значимых признаков.

1. Распределение по числу транзакций

Демонстрирует естественную дисперсию активности клиентов: от минимального количества операций до десятков в месяц. Такая картина отражает реальные особенности транзакционного поведения, включая наличие «гиперактивных» клиентов и пассивных пользователей. Выявление длинного хвоста подтверждает применимость модели к задачам выявления аномалий.

2. Средние суммы транзакций

Варьируются в широком диапазоне — от ~20 000 до свыше 45 000 рублей. Эти различия важны для стратификации клиентов по уровню платежеспособности, что позволяет рекомендательной системе учитывать индивидуальные возможности при формировании предложений.

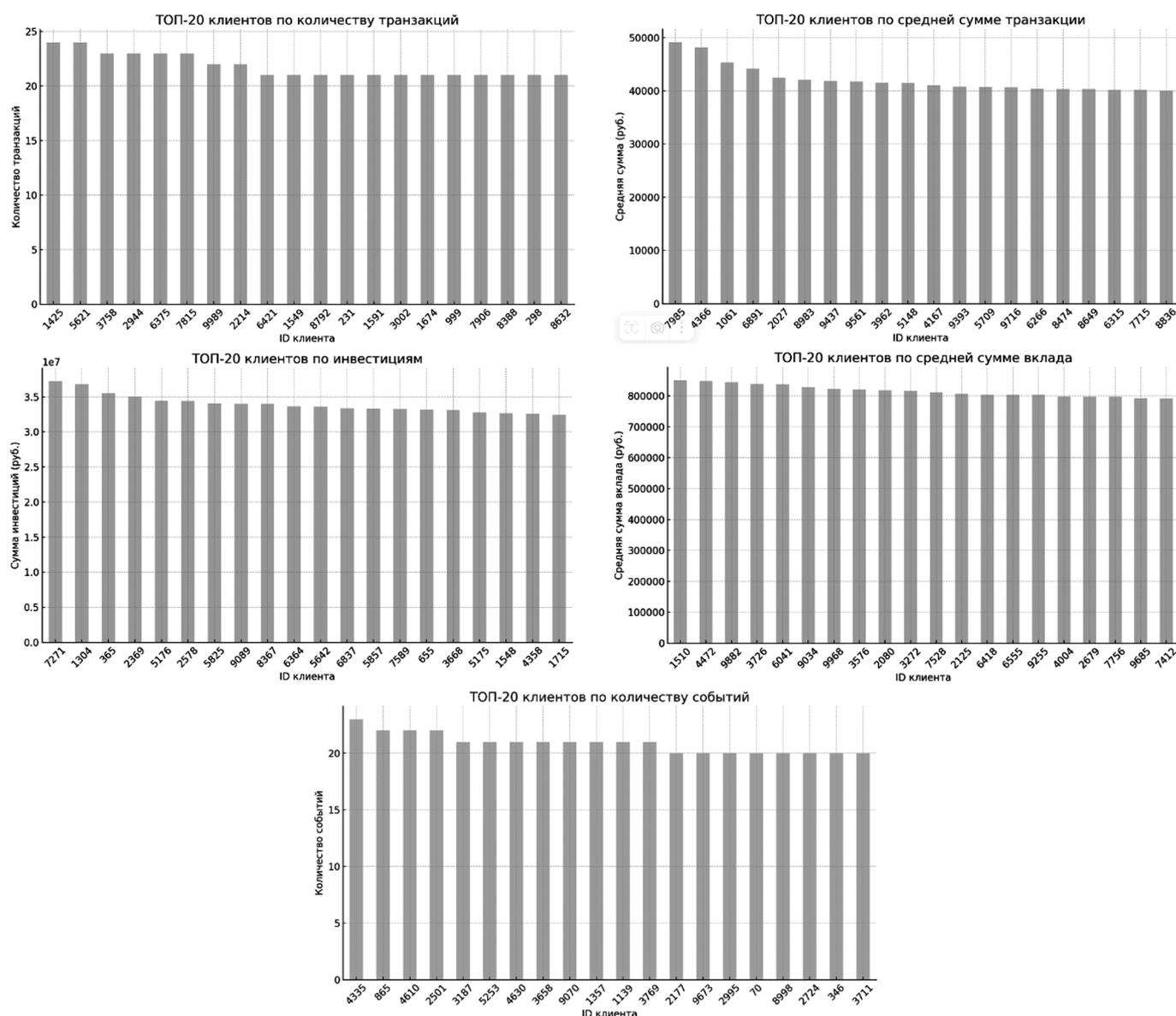


Рис. 2. Анализ качества синтетических данных

3. Суммарные инвестиции

Разброс инвестированных сумм по клиентам достигает 1,5 млн рублей, что указывает на успешное моделирование инвестиционного поведения. Данные по инвестициям формируют основу для оценки склонности к риску и составления инвестиционных стратегий.

4. Средние суммы вкладов

Отражают широкий диапазон сберегательной активности: от краткосрочных и небольших вкладов до значительных сбережений, характерных для консервативных клиентов. Эти данные используются при построении профиля финансовой устойчивости.

5. Количество событий в истории клиента

Визуализация событий (изменения персональных данных, открытия/закрытия продуктов и пр.) позволяет дополнительно сегментировать клиентов по уровню вовлечённости и активности вне транзакционного контура. Эти признаки важны для построения контекстных рекомендаций и выявления изменений в жизненном цикле клиента.

Обобщённо, визуальный анализ подтверждает:

- наличие широкой поведенческой дифференциации клиентов;
- присутствие отчётливо сегментированных кластеров, пригодных для задач кластеризации и таргетированной рекомендации;
- соответствие синтетических данных реальным бизнес-сценариям и статистическим закономерностям.

Эмпирическая проверка подтверждает, что структура, охват и содержательное наполнение синтетической базы данных соответствуют требованиям к обучающим

выборкам в задачах рекомендательных и адаптивных систем. Это позволяет использовать её как полноценную среду для построения и тестирования модели в условиях, приближённых к реальной банковской практике.

Заключение

В данной работе была представлена методология создания самообучающейся рекомендательной системы для банковского сектора, основанной на генерации синтетических данных с учётом поведенческих характеристик клиентов и макроэкономических факторов. Разработанная мультиагентная архитектура моделирования клиентского поведения позволила сформировать репрезентативную обучающую среду, отражающую разнообразие стратегий пользователей в условиях экономической нестабильности.

Синтетические данные, сгенерированные на основе стохастических процессов, языковых моделей и генеративно-состязательных сетей, продемонстрировали пригодность для обучения как традиционных моделей, так и алгоритмов обучения с подкреплением. Их внутренняя структурная логика, реалистичное распределение признаков и взаимосвязь на уровне клиентских идентификаторов обеспечили возможность построения комплексных признаков пространств и реализации адаптивной логики рекомендаций.

Интеграция макроэкономических индикаторов в синтетическую среду открывает дополнительные перспективы для тестирования и настройки интеллектуальных моделей в стрессовых сценариях, а также для прогнозирования реакции клиентов на внешние изменения. Результаты визуального и статистического анализа подтвердили поведенческую правдоподобность сгенерированной выборки и её потенциал в качестве безопасной и масштабируемой альтернативы реальным банковским данным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wu Y., Li J. A Comprehensive Survey on Financial Recommendation Systems: Models, Techniques and Applications // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. — 2025. — Vol. 37, № 3. — P. 469–487. — DOI: 10.1109/TKDE.2025.1234567.
2. Arias M., Álvarez D., Fernández J. Flexible Recommender System for Debt Collection Management Based on Deep Reinforcement Learning // Expert Systems with Applications. — 2020. — Vol. 140. — Article 112878. — DOI: 10.1016/j.eswa.2019.112878.
3. Zuo X., Jiang A.A., Zhou K. Reinforcement Prompting for Financial Synthetic Data Generation // Journal of Finance and Data Science. — 2024. — Vol. 10. — Article 100137. — DOI: 10.1016/j.jfds.2024.100137.
4. Karst F.S., Li M.M., Leimeister J.M. SynDEC: A Synthetic Data Ecosystem // Electronic Markets. — 2025. — Vol. 35. — Article 7. — DOI: 10.1007/s12525-024-00746-8.
5. Lin Y., Liu Y., Lin F., et al. A Survey on Reinforcement Learning for Recommender Systems // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. — 2024. — № 10. — P. 13164–13184. — DOI: 10.1109/TNNLS.2023.3280161.
6. Chen X., Yao L., McAuley J., et al. Deep Reinforcement Learning in Recommender Systems: A Survey and New Perspectives // Knowledge-Based Systems. — 2023. — Vol. 264. — Article 110335. — DOI: 10.1016/j.knosys.2023.110335.
7. Afsar M.M., Crump T., Far B. Reinforcement Learning Based Recommender Systems: A Survey // ACM Computing Surveys. — 2022. — Vol. 55, No. 7. — P. 1–38. — DOI: 10.1145/3543846.

8. Wiese M., Knobloch R., Korn R., Kretschmer P. Quant GANs: Deep Generation of Financial Time Series // Quantitative Finance. — 2020. — Vol. 20, No. 9. — P. 1419–1440. — DOI: 10.1080/14697688.2020.1730426.
9. Sarin S., Singh S.K., Kumar S., et al. Unleashing the Power of Multi-Agent Reinforcement Learning for Algorithmic Trading in the Digital Financial Frontier // Computers, Materials & Continua. — 2024. — Vol. 80, No. 2. — P. 3123–3138. — DOI: 10.32604/cmc.2024.051599.
10. Jiang Y., Olmo J., Atwi M. Deep Reinforcement Learning for Portfolio Selection // Global Finance Journal. — 2024. — Vol. 62. — Article 101016. — DOI: 10.1016/j.gfj.2024.101016.
11. Pang G., Shen C., Cao L., van den Hengel A. Deep Learning for Anomaly Detection: A Review // ACM Computing Surveys. — 2021. — Vol. 54, No. 2. — Article 38. — DOI: 10.1145/3439950.
12. Arshad K., Ali R.F., Muneer A., et al. Deep Reinforcement Learning for Anomaly Detection: A Systematic Review // IEEE Access. — 2022. — Vol. 10. — P. 124017–124035. — DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3224023.

© Аскеров Заур Ханахмедович (zaur_askerov_1998@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

REVIEW OF MACHINE LEARNING APPLICATIONS FOR ANALYSIS AND CONTROL OF ENERGY SYSTEMS

V. Barannik

Summary. The article explores AI and machine learning applications for energy system analysis and control, focusing on integrating these technologies into automated process control systems to enhance efficiency, stability and security. It examines key approaches including mathematical optimization models, SCADA-based load forecasting, and spectral analysis for power grid stability assessment. The study highlights explainable AI techniques to improve decision transparency and proposes an innovative SDN-RNN framework for real-time SCADA cyberattack detection. Practical implementations demonstrate how ONNX-based machine learning integration can automate processes and prevent failures. The findings show AI's potential to transform energy infrastructure management while addressing modern technological challenges.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, mathematical modeling, energy systems, SCADA, industrial control systems (ICS), ONNX, dispatching.

Баранник Владислав Андреевич

Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)
barannikvlad@mail.ru

Аннотация. Статья исследует применение искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа и управления энергосистемами, уделяя особое внимание их интеграции в АСУ ТП для повышения эффективности и безопасности. Рассматриваются методы оптимизации энергоустановок, прогнозирования нагрузок на основе SCADA-данных и оценки устойчивости сетей. Особый акцент сделан на объяснимом ИИ для прозрачности решений и инновационном подходе SDN-RNN для защиты SCADA от кибератак. Практические примеры демонстрируют автоматизацию процессов и предотвращение аварий через интеграцию алгоритмов в формате ONNX. Результаты подтверждают потенциал ИИ в обеспечении устойчивого развития энергетической инфраструктуры.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, математическое моделирование, энергетика, SCADA, АСУ ТП, ONNX.

В рамках развития и совершенствования АСУ ТП в энергетике, свою действующую роль начинает играть искусственный интеллект. Эта статья посвящена анализу того, как ИИ способен трансформировать управление энергетическими системами, повышая их эффективность и надежность. Использование ИИ в энергетике открывает новые возможности для прогнозирования спроса и предложения электроэнергии, а также для оптимизации работы и обслуживания энергетических установок.

Применение ИИ может значительно улучшить управление распределением энергии, особенно в условиях растущего вклада возобновляемых источников энергии, таких как солнечные и ветровые электростанции. С помощью алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей можно более точно анализировать большие объемы данных, что способствует более эффективному реагированию на изменения в спросе и предложении энергии, а также повышает общую эффективность системы.

Современные энергетические системы требуют комплексного подхода к моделированию, сочетающе-

го методы оптимизации и машинного обучения. Одним из ключевых направлений является разработка математических моделей, способных анализировать как текущие режимы работы, так и долгосрочные сценарии развития энергообъектов. Примером такой интеграции служит модель ОРИПЭС (оптимизация развития и режимов электроэнергетической системы), которая применяется для оценки эффективности ввода новых генерирующих мощностей, модернизации сетей и формирования узловых цен на электроэнергию. В основе этой модели лежит задача линейного программирования, где двойственные оценки играют критическую роль в интерпретации результатов. Они позволяют определить «ценность» ресурсов, таких как пропускная способность линий или доступность гидроэнергетических мощностей, что напрямую влияет на принятие решений в условиях меняющегося спроса и роста доли возобновляемых источников энергии.

Математические модели, подобные ОРИПЭС, активно используются для прогнозирования нагрузки, оптимизации распределения энергии и оценки экономической

эффективности межсистемных связей. Например, двойственные переменные в таких моделях отражают предельные издержки генерации, что помогает определить замыкающие технологии в узлах энергосети. Это особенно важно при интеграции машинного обучения, где алгоритмы требуют четких входных параметров для обучения. Данные с датчиков SCADA, метеорологические показатели и исторические записи аварийных ситуаций используются для калибровки моделей, что повышает точность прогнозов и снижает риски перегрузок [1].

Математические модели, такие как ОРИПЭС, обеспечивают статическую оптимизацию, однако для анализа динамических процессов в энергосистемах требуются методы спектрального и модального анализа. В контексте развития электроэнергетических систем особое внимание уделяется методам, позволяющим не только оптимизировать их функционирование, но и обеспечивать устойчивость в условиях возрастающей сложности и нестационарности. Ранее рассмотренные подходы, основанные на двойственных оценках, акцентировались на задачах ресурсного планирования и оптимизации структурных преобразований. Однако современные вызовы, связанные с интеграцией возобновляемых источников энергии, распределенной генерацией и активным участием потребителей, требуют углубленного анализа динамических свойств систем. Это обуславливает переход к методам, ориентированным на исследование устойчивости и управление в реальном времени, среди которых ключевую роль играют спектральный и модальный подходы.

Спектральный анализ базируется на изучении собственных значений матриц, описывающих линеаризованные модели электроэнергетических систем. Эти значения, расположенные на комплексной плоскости, определяют частоты и демпфирование колебательных процессов. Условие асимптотической устойчивости системы формулируется через отрицательность действительных частей всех собственных чисел. Исторически данный метод развивался параллельно с классическими подходами теории устойчивости Ляпунова, дополняя их возможностью прямого вычисления критических мод, таких как низкочастотные межрайонные колебания или локальные резонансы. Важным аспектом является анализ чувствительности спектра к изменениям параметров сети, что позволяет выявлять слабые связи и узлы, наиболее уязвимые к нарушениям устойчивости.

Модальный анализ расширяет спектральный подход, фокусируясь на связи собственных колебаний с конкретными переменными состояния системы. Использование факторов участия, вычисляемых через правые и левые собственные векторы, обеспечивает количественную оценку вклада каждой моды в динамику отдельных генераторов или узлов. Это открывает возможности для

селективного управления, например, настройки стабилизаторов энергосистемы (PSS) или устройств FACTS, направленного на подавление критических колебаний. Метод также применяется для агрегирования когерентных групп генераторов, чье синхронное движение позволяет упрощать модели без существенной потери точности. Кластеризация на основе модальных характеристик и электрической близости элементов способствует формированию иерархических структур управления, адаптированных к неоднородности сети.

Перспективным направлением стало объединение модального анализа с энергетическими подходами Ляпунова через концепцию субграмманов. Эти компоненты спектрального разложения решений матричных уравнений Ляпунова характеризуют взаимодействие мод и позволяют оценивать резонансные эффекты, которые трудно выявить традиционными методами. Например, анализ субграмманов помогает прогнозировать развитие каскадных аварий, вызванных медленными переходными процессами, и определять временные интервалы, в течение которых система остается устойчивой. Подобные методы особенно актуальны для крупных энергообъединений, где слабодемпфированные колебания между географически удаленными районами создают риски дестабилизации.

Применение рассмотренных подходов демонстрирует их универсальность: от оперативного управления, требующего быстрого упрощения моделей, до долгосрочного планирования с учетом структурной эволюции сетей. Интеграция спектрально-модальных методов с технологиями искусственного интеллекта, такими как мультиагентные системы и ассоциативный поиск, формирует основу для интеллектуальных систем мониторинга, способных прогнозировать угрозы устойчивости в режиме реального времени. Таким образом, развитие этих методов не только углубляет понимание динамических свойств электроэнергетических систем, но и создает инструментарий для их адаптации к условиям возрастающей сложности и неопределенности [2].

В современных условиях анализа и управления энергетическими системами возрастает роль интеллектуальных технологий, способных обеспечивать не только высокую точность прогнозирования, но и прозрачность принимаемых решений. Это особенно актуально в контексте сложных энергетических инфраструктур, где ошибки в управлении могут привести к критическим последствиям. Методы искусственного интеллекта, такие как глубокие нейронные сети, уже доказали свою эффективность в задачах оптимизации энергопотребления, прогнозирования нагрузки и предотвращения аварий. Однако их применение часто ограничивается проблемой «чёрного ящика», когда внутренняя логика работы модели остаётся недоступной для интерпретации. Реше-

нием этой проблемы становятся подходы объяснимого ИИ, включая извлечение правил из нейронных сетей, которые позволяют преобразовать скрытые зависимости в понятные для человека логические конструкции.

В исследованиях по извлечению правил выделяются три основных направления: декомпозиционные, педагогические и эклектические методы. Декомпозиционные подходы, такие как алгоритм КТ или полиномиальный метод Цукимого, фокусируются на анализе внутренней структуры нейронных сетей, формируя правила на основе активации отдельных нейронов и слоёв. Это позволяет выявлять ключевые входные параметры, влияющие на выходные решения, что критически важно для анализа энергетических данных. Например, прогнозирование пиковых нагрузок может быть объяснено через правила, связывающие время суток, сезонные колебания или погодные условия с изменениями спроса. Педагогические методы, рассматривающие нейросеть как целостную систему, используют сопоставление входных и выходных данных для генерации обобщённых правил. Такие подходы, как алгоритм Трепа или STARE, создают таблицы истинности или деревья решений, имитирующие поведение сети. В энергетике это может помочь в идентификации аномалий или разработке стратегий управления на основе исторических данных. Эклектические методы объединяют оба подхода, используя как внутренние параметры сети, так и внешние выборки данных, что повышает точность и интерпретируемость моделей.

Особый интерес представляют нейронечеткие модели, сочетающие нейронные сети с нечёткой логикой. Такие гибридные системы, например ANFIS или GARIC, эффективно работают с неопределённостями, характерными для энергетических систем: колебаниями генерации возобновляемых источников, нелинейными зависимостями спроса и предложения. Они позволяют не только адаптироваться к изменяющимся условиям, но и предоставлять правила в форме, понятной экспертам. Например, модель ANFIS может описывать взаимосвязь между температурой окружающей среды, уровнем солнечной радиации и выработкой солнечных панелей через лингвистические переменные, что упрощает интеграцию таких систем в существующие системы управления.

Программа DARPA по объяснимому ИИ подчёркивает необходимость создания систем, способных не только принимать решения, но и обосновывать их. В энергетике это реализуется через причинно-следственные модели, такие как CAMEL, которые выявляют скрытые зависимости в данных. Например, анализ причин частых отключений в определённых узлах сети может быть связан с комбинацией факторов: износом оборудования, перегрузками в часы пик или внешними климатическими воздействиями. Подобные модели позволяют не толь-

ко диагностировать проблемы, но и прогнозировать их возникновение, предлагая превентивные меры.

Российские инициативы, такие как проект Нижегородского государственного университета, направлены на разработку логически прозрачных систем ИИ, что особенно важно для критических областей, включая энергетику. Использование методов извлечения правил и гибридных моделей способно снизить риски, связанные с автоматизацией управления энергосетями. Например, объяснение причин рекомендаций по перераспределению энергии между регионами или выявление уязвимостей в инфраструктуре повышает доверие операторов и упрощает внедрение инновационных решений.

Интеграция объяснимого ИИ в энергетические системы открывает перспективы для создания адаптивных, устойчивых и прозрачных систем управления. Методы извлечения правил, нейронечеткие модели и причинно-следственный анализ не только улучшают точность прогнозов, но и обеспечивают понимание логики работы алгоритмов. Это позволяет экспертам принимать обоснованные решения, минимизировать риски и оптимизировать использование ресурсов, что в конечном итоге способствует повышению надёжности и эффективности энергетических систем в условиях растущих требований к устойчивости и безопасности [3].

Повышение надёжности и безопасности энергетических систем невозможно без внедрения современных методов защиты от киберугроз, особенно в контексте SCADA-систем, которые управляют критической инфраструктурой. Эти системы, отвечающие за мониторинг и контроль промышленных процессов, всё чаще становятся мишенью для распределённых атак типа DDoS, способных парализовать работу энергетических объектов. Решение этой проблемы требует не только эффективных механизмов обнаружения угроз, но и адаптивности к изменяющимся сетевым условиям. В исследовании Полат Х., Тюркоглу М., Полат О. и Шенгрю А. предложен инновационный подход, сочетающий возможности программно-определяемых сетей (SDN) и глубоких рекуррентных нейронных сетей (RNN) для точного выявления DDoS-атак в SCADA-средах.

Авторы акцентируют внимание на ограничениях традиционных методов обнаружения, таких как сигнатурный анализ или статистические пороговые модели, которые часто не справляются с динамичным характером современных атак. В отличие от них, предложенный подход использует SDN для централизованного сбора сетевого трафика, что обеспечивает глобальную видимость и гибкость в управлении потоками данных. Это позволяет применять RNN, способные анализировать временные последовательности и выявлять аномалии в режиме реального времени. Рекуррентные архитек-

туры, в частности LSTM-сети, выбраны из-за их способности сохранять контекст и обрабатывать долгосрочные зависимости в сетевых логах, что критически важно для обнаружения сложных многоэтапных атак.

Методология исследования включает этап преобработки данных, где сырые сетевые пакеты преобразуются в структурированные временные ряды, отражающие параметры трафика: интенсивность запросов, задержки, геолокацию источников и др. На основе этих данных обучается модель RNN, которая классифицирует трафик как нормальный или аномальный. Для валидации подхода авторы использовали как синтетические данные, имитирующие различные сценарии DDoS-атак, так и реальные датасеты из промышленных SCADA-систем. Эксперименты показали, что глубокая RNN достигает точности обнаружения выше 98 %, что существенно превосходит традиционные методы, включая SVM и случайные леса.

Ключевым преимуществом предложенного решения является интеграция SDN и RNN, позволяющая не только детектировать атаки, но и автоматически перенаправлять подозрительный трафик через контроллер SDN, минимизируя время реакции. Это особенно важно для SCADA-систем, где даже кратковременные задержки могут привести к сбоям в управлении энергетическими объектами. Кроме того, модель демонстрирует устойчивость к обфускации атак, таким как изменение IP-адресов или маскировка под легитимный трафик, благодаря способности RNN выявлять сложные временные паттерны.

Практическая значимость исследования подчёркивается тестами в условиях, приближенных к реальным промышленным сетям. Авторы отмечают, что их подход может быть масштабирован для крупных энергетических инфраструктур, где критически важны низкая задержка и высокая достоверность обнаружения. Однако для внедрения требуется оптимизация вычислительных ресурсов, так как глубина RNN влияет на скорость обработки данных. В будущих работах планируется исследование квантованных нейросетей и распределённого обучения для снижения нагрузки на контроллеры SDN.

Разработанный метод открывает новые возможности для защиты SCADA-систем, сочетая преимущества программно-определяемых сетей и искусственного интеллекта. Его внедрение способно повысить устойчивость энергетической инфраструктуры к кибератакам, обеспечивая не только своевременное обнаружение угроз, но и автоматизированное принятие контрмер, что соответствует современным требованиям к безопасности критически важных объектов [4].

Внедрение ИИ в АСУ ТП также включает использование алгоритмов для диагностики и предиктивного обслуживания оборудования, что снижает риск аварий

и повышает общую надежность энергетических систем. Алгоритмы ИИ способны анализировать состояние оборудования и предсказывать потенциальные неисправности, что позволяет заранее планировать техническое обслуживание и избегать непредвиденных простоев.

Процесс интеграции начинается с тщательного анализа текущих систем АСУ ТП, чтобы определить, какие области могут быть улучшены с помощью ИИ. Это включает в себя анализ данных, процессов управления, а также инфраструктуры системы. Важным аспектом является оценка готовности существующей системы к интеграции с ИИ, включая анализ аппаратного и программного обеспечения.

Основные типы данных используемые для обучения ИИ:

- Данные о потреблении энергии: Временные ряды с данными о потреблении энергии на различных участках системы, включая пиковые и минимальные значения.
- Данные о состоянии оборудования: Сенсорные данные, такие как температура, давление и вибрация, которые могут указывать на потенциальные неисправности или необходимость в техническом обслуживании.
- Метеорологические данные: Информация о погодных условиях, которая может влиять на генерацию и потребление энергии, особенно для систем, интегрированных с возобновляемыми источниками энергии.
- Логи аварий и инцидентов: Исторические данные о прошлых сбоях и их причинах, которые могут быть использованы для обучения моделей предсказания и предотвращения аналогичных инцидентов в будущем.

Далее, разрабатываются и адаптируются специфические алгоритмы ИИ, которые могут включать машинное обучение, нейронные сети и алгоритмы прогнозирования. Эти алгоритмы нацелены на улучшение процессов принятия решений, оптимизацию работы оборудования, повышение эффективности ресурсного планирования и улучшение диагностики систем.

Для обучения системы можно использовать алгоритмы отключения:

- Алгоритмы прогнозирующего отключения: Эти алгоритмы анализируют данные о состоянии системы и прогнозируют потенциальные отказы или перегрузки, что позволяет проактивно отключать участки системы для предотвращения аварий. Они используют исторические данные и текущие показатели для выявления аномалий.
- Оптимизация ресурсного планирования: Используя алгоритмы машинного обучения для анализа

и прогнозирования потребления энергии, системы могут автоматически регулировать генерацию и распределение энергии, чтобы избежать ненужных затрат и перегрузок.

- Алгоритмы автоматического переключения нагрузки: Эти алгоритмы обеспечивают динамическое перераспределение нагрузки между различными источниками питания (например, переключение между основным и резервным источниками) для поддержания баланса и надежности сети.
- Используя алгоритмы предиктивного обслуживания, можно планировать техническое обслуживание реклоузеров и других ключевых компонентов сети на основе анализа данных о состоянии оборудования. Машинное обучение помогает определить оптимальные интервалы для проведения ремонтных работ, предотвращая непредвиденные отказы и уменьшая затраты на экстренные вмешательства.

Следующим шагом является интеграция разработанных алгоритмов в существующую инфраструктуру АСУ ТП. Это требует тесного взаимодействия между инженерами-автоматизаторами, специалистами по ИТ и экспертами по ИИ. Интеграция может потребовать модификации существующего программного обеспечения, а также, возможно, аппаратных обновлений для обеспечения необходимой вычислительной мощности и совместимости.

Внедрение ИИ также позволяет повысить уровень автоматизации диспетчерских служб. Системы могут предоставлять рекомендации операторам на основе анализа текущих данных, что повышает точность и оперативность принятия управленческих решений. Такой подход не только повышает надежность энергоснабжения, но и способствует более эффективному использованию ресурсов компании.

Особое внимание уделяется тестированию интегрированных систем. Этот этап включает в себя ряд тестов на функциональность, надежность и безопасность, чтобы убедиться, что системы АСУ ТП с ИИ работают эффективно и не представляют угрозы для производственных процессов.

Пример такой совместной интеграции есть в SCADA системе «Super SCADA» с провайдером данных ONNX, ко-

торый действует как виртуальный контроллер. Этот контроллер использует алгоритмы машинного обучения, загруженные в формате Open Neural Network Exchange (ONNX), для оптимизации и автоматизации процессов управления на энергетическом объекте.

ONNX, является открытым форматом, предназначенным для представления моделей машинного обучения. Этот формат был создан для обеспечения гибкости и совместимости моделей между различными инструментами и платформами машинного обучения [5].

Система SCADA, стоящая в основе АСУ ТП, отвечает за сбор данных с различных датчиков и устройств на предприятии. Эти данные включают информацию о работе оборудования, энергопотреблении, температуре, давлении и других критических параметрах. Интеграция с ONNX позволяет системе SCADA использовать алгоритмы машинного обучения для анализа этих данных и принятия оптимизированных управленческих решений в реальном времени.

Основная функция ONNX провайдера в этой системе заключается в выполнении загруженных моделей машинного обучения для анализа данных, полученных от SCADA. Это позволяет автоматически адаптировать управление процессами на предприятии, учитывая текущие условия и прогнозируемые изменения. Например, алгоритмы могут предсказывать потребность в энергии или необходимость технического обслуживания оборудования, позволяя предприятию действовать проактивно, а не реактивно [6].

Проект также включает разработку пользовательского интерфейса, который позволяет операторам наблюдать за процессами и принимать решения на основе рекомендаций, предоставляемых алгоритмами ИИ. Этот интерфейс интегрирован с системой SCADA и обеспечивает простоту и интуитивность управления, а также высокий уровень безопасности.

В результате внедрения ИИ через ONNX в систему АСУ ТП энергетического предприятия, достигнуты значительные улучшения в эффективности и надежности управления процессами. Снижение расходов на энергию, уменьшение времени простоев и увеличение срока службы оборудования являются лишь некоторыми из многочисленных положительных эффектов, реализуемых в потенциальном проекте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хамисов О.В., Подковальников С.П. Двойственные оценки в модели развития электроэнергетических систем // Автоматика и телемеханика. — 2022. — №5. — С. 43–60.
2. Воропай Н.И., Голуб И.И., Ефимов Д.Н., Исаков А.Б., Ядыкин И.Б., Спектральный и модальный методы в исследованиях устойчивости электроэнергетических систем и управления ими // Автоматика и телемеханика. — 2020. — №10. — С. 3–34.
3. Аверкин А.Н., Ярушев С.А., Обзор исследований в области разработки методов извлечения правил из искусственных нейронных сетей // Известия РАН. Теория и системы управления. 2021. — №6. — С. 106–121
4. Полат Х., Тюркоглу М., Полат О., Шенгрю А. Новый подход к точному обнаружению DDoS-атак в SCADA-системах на базе SDN на основе глубоких рекуррентных нейронных сетей. // Экспертные системы с приложениями. — 2022. — №197. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417422002160> (дата обращения 06.04.2025)
5. Сайт «ONNX». Подробное описание формата. Режим доступа: — URL: <https://onnx.ai/> (дата обращения 06.04.2025)
6. Web версия справки Super SCADA. Раздел ONNX провайдер. — URL: <https://help.mzta.com/help/1038-onnx-provajder> (дата обращения 06.04.2025)

© Баранник Владислав Андреевич (barannikvlad@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДНЕВНОГО ПРОМО-ЭФФЕКТА НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНОЙ И ИСТОРИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ

Быстров Александр Игоревич

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

ALLOCATING THE DAILY PROMOTIONAL EFFECT BASED ON LOCAL AND HISTORICAL DYNAMICS

A. Bystrov

Summary. This article addresses the problem of detailed allocation of the cumulative promotional effect across the days of a promotion in retail trade and the fast-food industry. The aim of the study is to develop a hybrid methodology that combines local dynamics (daily sales forecasts) and historical patterns of promotional effect distribution. The proposed approach is based on calculating a «local» share determined from the sales forecast for each day of the promotion and using an averaged «historical» profile defined by typical patterns for promotions of various durations. The mechanism for blending the two sources of information is implemented through the parameter α , which allows for optimal adjustment of the final sales increment already calculated by global models (e.g., XGBoost). The methodology includes comparing three distribution options—purely local, purely historical, and hybrid—with effectiveness evaluated using the WAPE metric. Experimental results based on real data from a fast-food chain demonstrate that the hybrid approach reduces forecasting error to 24.7 %, significantly outperforming alternative methods. The study also emphasizes the potential for integrating the proposed methodology into corporate information systems and using modern machine learning algorithms and neural networks to further improve the accuracy of detailed forecasts.

Keywords: demand forecasting, promotional effect, daily distribution, hybrid profile, local dynamics, historical profile, information systems, machine learning, neural networks.

Аннотация. В данной статье рассматривается задача детального распределения совокупного промо-эффекта по дням проведения акции в розничной торговле и индустрии быстрого обслуживания. Цель исследования — разработка гибридной методики, объединяющей локальную динамику (ежедневные прогнозы продаж) и исторические паттерны распределения промо-эффекта. Предлагаемый подход основан на расчете «локальной» доли, определяемой на основе прогноза продаж за каждый день акции, и использовании усредненного «исторического» профиля, заданного типовыми паттернами для акций различной длительности. Механизм смешивания двух источников информации осуществляется через параметр α , позволяющий оптимально скорректировать итоговый прирост продаж, уже рассчитанный глобальными моделями (например, XGBoost). Методология включает сравнение трех вариантов распределения — чисто локального, чисто исторического и гибридного — с оценкой эффективности по метрике WAPE. Экспериментальные результаты, полученные на основе реальных данных сети быстрого питания, демонстрируют, что гибридный подход снижает ошибку прогнозирования до 24.7 %, что значительно превосходит альтернативные методы. Исследование также подчеркивает перспективность интеграции предложенной методики в корпоративные информационные системы и использования современных алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей для дальнейшего повышения точности детального прогноза.

Ключевые слова: прогнозирование спроса, промо-эффект, дневное распределение, гибридный профиль, локальная динамика, исторический профиль, информационные системы, машинное обучение, нейронные сети.

Введение

В условиях современных розничных сетей и индустрии быстрого обслуживания (QSR) промо-акции (скидки, «2+1», купонные предложения, акционные наборы и др.) стали неотъемлемой частью маркетинговой стратегии, позволяя стимулировать спрос и конкурировать на рынке. При этом, как отмечено в ряде исследований [1, 2, 3], прогнозирование продаж во время акций усложняется из-за повышенной волатильности спроса и множества взаимодействующих факторов (сезонность, региональные особенности, механика промо и т. д.).

Особое внимание уделяется распределению итогового (суммарного) промо-эффекта по дням. Если акция

длится несколько дней, важно понять, как именно «раскладывается» прирост продаж на каждый день. Практика показывает, что для ряда промо (например, «быстрые скидки») всплеск приходится на первые дни, тогда как накопительные акции могут давать максимальный эффект ближе к концу. При этом необходимо одновременно учитывать локальные прогнозы и усредненные исторические паттерны.

Цель данной статьи — рассмотреть гибридную методику дневного распределения прироста, совмещающую информацию о «локальной» динамике (на уровне дня) и обобщенном «историческом» профиле. Такой подход позволяет снизить суммарную ошибку, учитывая как текущее состояние спроса, так и накопленный исторический опыт по акциям.

Обзор литературы и методологических подходов

Большинство существующих методов ориентировано на прогнозирование общего объема продаж за промо-период (например, неделю или две) без детальной разбивки по дням. Однако при планировании логистики, складских операций и графиков персонала важна именно подневная точность. Ошибки при детальном прогнозировании влекут риск «недопрогноза» или «перепрогноза» в конкретные даты, что негативно отражается на эффективности использования ресурсов [1, 2].

Современные работы [2, 3, 4] подчеркивают рост значимости методов машинного обучения (CatBoost, XGBoost, нейронные сети) при анализе больших исторических массивов данных для прогнозирования спроса и выявления ключевых факторов. Например, в [3] описано, как учет макроэкономических индикаторов повышает точность розничных прогнозов, а в [4] приводится алгоритм XGBoost, позволяющий гибко учитывать внешние влияния и избегать переобучения. Тем не менее, даже при высоком качестве итоговых ML-прогнозов, остается нерешенной задача посуточной детализации — ведь единое значение Δ_{total} еще не дает готового распределения продаж по каждому дню акции.

Существует два крайних подхода:

1. Чисто локальный: итоговый прирост Δ_{total} распределяется пропорционально долям:

$$\Delta_{total_j} = \frac{predicted_i}{\sum_j predicted_j}$$

где $predicted_i$ — прогноз baseline-модели на конкретный день акции, а его сумма по $predicted_j$ складывается из суммы всех дней акции. Преимущество состоит в учете свежей информации; недостаток — возможная шумность локальных прогнозов.

2. Чисто исторический: используется усредненный «профиль» $\{p_1, \dots, p_i\}$ (с суммой, равной 1) для акций длиной L дней. Тогда:

$$hist_i = p_i \times total,$$

где p_i — средний вес дня среди акций с одинаковой длительностью. Такой профиль стабилен и отражает накопленный опыт, но не учитывает специфику текущей акции (например, масштаб скидки, параллельные предложения и др.).

В ряде работ упоминается о комбинировании обоих методов с помощью параметра $\alpha \in [0, 1]$:

$$adjusted_share_i = \alpha \times \frac{predicted_i}{\sum_j predicted_j} + (1 - \alpha) \times p_i,$$

$$\Delta_i = adjusted_share_i \times \Delta_{total},$$

где $adjusted_share_i$ — это доля от общего прогноза Δ_{total} в конкретный день акции. Данный подход дает возможность «смешать» локальные и исторические данные, снижая итоговую погрешность.

Материалы и методы исследования

Постановка задачи и алгоритм гибридного распределения

Общие обозначения:

- L — длина промо-периода в днях.
- Δ_{total} — итоговый прирост продаж по акции (предварительно рассчитанный глобальной моделью).
- $predicted_i$ — локальный прогноз продаж по дню i .
- p_i — усредненный исторический профиль для акций длиной L дней, при этом $\sum p_i = 1$.

Требуется найти Δ_i — дневной прирост для каждого i с учетом двух источников информации.

Формула смешанного распределения: сначала вычислим «локальную» долю:

$$local_share_i = \begin{cases} \frac{predicted_i}{\sum_j predicted_j}, & \text{если } \sum_j predicted_j \neq 0, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Затем введем «смешанную» долю:

$$adjusted_share_i = \alpha \times local_share_i + (1 - \alpha) \times p_i$$

Итоговый прирост по дню:

$$\Delta_i = adjusted_share_i \times \Delta_{total}.$$

Обработка особых случаев: если $\sum predicted_j = 0$, то локальное распределение не работает. В таком случае разумно прибегнуть либо к чисто историческому профилю, либо (при наличии другой бизнес-логики) установить $\Delta_{i=0}$. Выбор конкретной стратегии зависит от бизнес-правил и свойств данных.

Реализация в виде Python-кода и интеграция в информационные системы

Предложенная методика легко встраивается в корпоративные ИТ-ландшафты [1, 2]. Ниже на рисунке 1 приведен упрощенный пример на Python/pandas:

Полученный DataFrame можно визуализировать или вывести в корпоративную систему. Как отмечено в [1, 2], ключевым элементом является удобный интерфейс для автоматизации и анализа, позволяющий менеджеру

```

alpha = 0.5 # коэффициент смещения
list_of_promo_periods = []

for (key, loc, prod), df_group in regression_predictions.groupby(
    ["promo_key", "pbo_location_id", "product_id"]
):
    # Общий промо-прирост, рассчитанный глобальной моделью (XGBoost и т.п.)
    total_increase = df_group["y_pred"].iloc[0]

    raw_rows = results_df[
        (results_df["promo_key"] == key) &
        (results_df["pbo_location_id"] == loc) &
        (results_df["product_id"] == prod)
    ]
    promo_period = raw_rows[raw_rows["is_promo_day"]].copy()

    # Сумма локальных прогнозов
    sum_pred = promo_period["predicted"].sum()

    # Длина L и исторический паттерн (предположим, хранится в словаре)
    L = (promo_period["ds"].max() - promo_period["ds"].min()).days + 1
    hist_profile = profile_dict.get(L, None) # массив p_i

    if sum_pred != 0:
        local_share = promo_period["predicted"] / sum_pred
        if hist_profile is not None and len(hist_profile) >= L:
            # Гибридная доля
            adjusted_share = alpha * local_share.values + (1 - alpha) * hist_profile
            promo_period["promo_to_add_daily"] = adjusted_share * total_increase
        else:
            # Если исторический профиль отсутствует, fallback на локальный
            promo_period["promo_to_add_daily"] = local_share * total_increase
    else:
        # sum_pred = 0 => fallback
        promo_period["promo_to_add_daily"] = 0

    list_of_promo_periods.append(promo_period)

# Итоговый DataFrame можно сохранить в БД или использовать для аналитики
final_df = pd.concat(list_of_promo_periods, ignore_index=True)

```

Рис. 1. Пример реализации алгоритма

оперативно изучать результаты распределения промо-эффекта.

Результаты

Для демонстрации были взяты реальные данные одной из сетей быстрого питания (десятки промо). Сначала был рассчитан Δ_{total} методом XGBoost [4] с учетом исторических продаж, ценовых факторов, сезонности и т. д. Далее сформировали исторические профили p_i для основных длительностей акций (3, 5 и 7 дней).

Сопоставлялись:

1. (A) Локальное ($\alpha=1$);
2. (B) Историческое ($\alpha=0$);
3. (C) Гибрид ($\alpha=0.5$).

Ошибку оценивали с помощью WAPE (взвешенная абсолютная процентная ошибка) при сравнении фактического и рассчитанного дневного прироста. Итоги суммированы в таблице ниже.

Таблица 1.

Сравнение трех подходов

Метод	WAPE, %
(A) Чисто локальный ($\alpha=1$)	27.3
(B) Чисто исторический ($\alpha=0$)	25.2
(C) Гибрид ($\alpha=0.5$)	24.7

Из данных видно, что гибридный вариант (C) дает наиболее низкую суммарную ошибку WAPE, поскольку учитывает одновременно и специфику текущей акции, и усредненные исторические закономерности.

Обсуждение

В современных исследованиях для расчета общего Δ_{total} активно применяются методы машинного обучения [2, 3, 4], такие как XGBoost, CatBoost, нейронные сети (в том числе LSTM). Авторы [3] подчеркивают важность учета экзогенных переменных (макроэкономических, сезонных и т. д.), а в [4] представлена методика оптимизации гиперпараметров XGBoost. Однако даже качественная ML-модель, предсказывающая суммарный прирост, не решает задачу «разбивки» результатов по дням. Поэтому предложенный в статье гибридный механизм распределения Δ_{total} становится важным дополнительным этапом.

Перспективным направлением является создание нейронной сети, которая напрямую предсказывает посуточные приросты (дельты) в рамках одного прогноза. Такой подход позволяет моделировать детализированное распределение промо-эффекта без дополнительного шага «локального» или «гибридного» деления. Суть состоит в том, что нейросеть (например, многослойный перцептрон — MLP) получает на вход несколько типов данных:

1. Базовый прогноз на n дней (набор чисел b_1, b_2, \dots, b_n), отражающий «обычные» продажи без учета промо.
2. Итоговый промо-эффект — общая добавка к продажам за весь промо-период.

3. Дополнительные факторы (день недели, праздники, механика промо, глубина скидки и т. д.), позволяющие учесть особенности конкретной акции и внешнюю среду.

На выходе сеть формирует n значений $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$, каждое из которых интерпретируется как прирост продаж в соответствующий день акции.

При мультывыходной постановке задача «разбивки» общего эффекта решается нейросетью непосредственно в ходе обучения. Это может быть особенно полезно при наличии большого числа промо-кейсов в обучающей выборке. При этом, как отмечено в [1, 2], целесообразно использовать гибридные системы, сочетающие статистические модели, нейросети и экспертные правила.

Заключение

В статье представлен гибридный метод распределения дневного промо-эффекта, основанный на смешивании локальных прогнозов (predicted) и исторического профиля (p).

Основные выводы:

1. Гибридное распределение (смешивание с помощью α) дает меньшую итоговую ошибку (WAPE), чем каждый из методов в отдельности.
2. Метод легко интегрируется в корпоративные информационные системы, совместим с ML-подходами и обеспечивает гибкую настройку под разные типы акций.
3. В дальнейших исследованиях возможно развитие подхода путем обучения α на исторических данных (meta-learning), переход к почасовому распределению и более глубокой интеграции с нейронными сетями.

Таким образом, предложенный способ улучшает точность детального прогноза, что особенно важно для розничных компаний, стремящихся оптимизировать планирование запасов, работу персонала и прочие операционные процессы в период промо-акций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ткаченко В.В., Волков Е.О., Кужильный А.В. Информационная система оценки потребительского спроса и прогнозирования результатов рекламных кампаний и промоакций // Естественнo-гуманитарные исследования. 2024. № 4 (54). С. 247–253.
2. Черный В.Н. Машинное обучение и нейросети как основа современных инноваций // Развитие регионов как фактор укрепления единства и целостности государства: сб. ст. 2024. Т. 14. С. 194–200.
3. Сяндюкова Е.В. Прогнозирование розничного спроса с использованием нейронных сетей и макроэкономических переменных // Экономика и качество систем связи. 2025. Т. 1. № 35. С. 122–131.
4. Чеметева М.С., Зобова С.В. Метод прогнозирования продаж на основе модели алгоритма XGBOOST // Научный вектор: сб. науч. тр. Изд-во Ростовского гос. экономического ун-та (РИНХ), 2024. Т. 10. С. 378–380.

© Быстров Александр Игоревич (alexandr.jri.byistrov@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЭФФЕКТИВНЫЙ ОБМЕН ДАННЫМИ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ: СРАВНЕНИЕ ПРОТОКОЛОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ MQTT-БРОКЕРОВ

Гафаров Булат Рустемович

Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
gafarovbr@student.bmstu.ru

EFFICIENT DATA EXCHANGE IN THE INTERNET OF THINGS: COMPARISON OF PROTOCOLS AND THE USE OF OPEN MQTT BROKERS

B. Gafarov

Summary. When implementing systems related to the Internet of Things, designers and developers of information systems are faced with the task of choosing technologies for data exchange between subsystems. The article highlights the problem of wireless data transmission between physical devices equipped with sensors, actuators, and the main application server. A comparison of the main protocols used in the Internet of Things was carried out, the concept of one of them was described, an option for its implementation using an open source broker was proposed, and testing was carried out. As part of the testing, the results of the study made it possible to reduce costs at the stage of system operation and increase security. The knowledge gained as a result of the study can be used both in small projects related to home automation and in large projects, for example, in the field of industrial Internet of Things.

Keywords: automation, Internet of Things, data transfer protocol, information system, mqtt, mqtt broker, open source solutions, microcontroller, sensors.

Аннотация. При реализации систем, связанных с интернетом вещей, проектировщики и разработчики информационных систем сталкиваются с задачей выбора технологий для обмена данными между подсистемами. В статье освещается проблема беспроводной передачи данных между физическими устройствами, оснащенных датчиками, исполнительными устройствами, и основным сервером приложения. Было проведено сравнение основных протоколов, использующихся в интернете вещей, описана концепция одного из них, предложен вариант его реализации с помощью брокера с открытым исходным кодом, проведена апробация. В рамках апробации результаты исследования позволили сократить расходы на этапе эксплуатации системы, повысили безопасность. Знания, полученные в результате исследования, могут быть использованы как в небольших проектах, связанных с домашней автоматизацией, так и в крупных проектах, например, в области промышленного интернета вещей.

Ключевые слова: автоматизация, интернет вещей, протокол передачи данных, информационная система, mqtt, mqtt-брокер, решения с открытым исходным кодом, микроконтроллер, датчики.

Введение

В последнее время широкое распространение во всем мире получают цифровые, информационные и телекоммуникационные ресурсы, происходит активная цифровизация процессов деятельности различных сфер жизни общества [1]. Одним из примеров является отрасль сельского хозяйства. В настоящее время идёт активное внедрение информационных технологий в данной сфере. Растущее население Земли — а к 2050 году оно может увеличиться на два миллиарда человек — требует все больше продовольствия. Справиться с производством больших объемов продукции, пользуясь исключительно устаревшими разработками, довольно сложно. Последнее является одним из важнейших аргументов для введения IT-технологий во все сферы агропромышленного комплекса [2].

По мнению многих экспертов, те компании, которые активно используют инновационные технологии в сво-

ем бизнесе, могут добиться высокого роста доходности и стать лидерами на рынке агропродукции в современных экономических условиях. При этом существует мнение, что через 10 лет при прочих равных условиях более 80 % российских сельхозпредприятий будут использовать в своей работе цифровые решения [3]. Однако, реализация таких технологий зачастую невозможна без применения средств автоматизации и облачных решений.

При реализации подобных систем возникают проблемы управления и передачи данных от датчиков к пользователям системы. Цель данной статьи — предложить решение, которое обеспечит стабильную и полную передачу данных между пользователями и объектами автоматизации.

Анализ технологий беспроводной передачи данных, используемых в интернете вещей

Передача данных в Интернете Вещей является самой важной функцией этой концепции. Именно поэтому для

неё были разработаны различные протоколы передачи данных, среди которых можно выделить основные: HTTP, WebSocket, MQTT [4]. Рассмотрим эти протоколы в контексте передачи данных между клиентским приложением и микроконтроллером, поскольку в архитектуре интернета вещей микроконтроллеры используются для взаимодействия с физическими объектами [5].

WebSocket — это постоянное соединение между клиентом и сервером, которое обеспечивает двустороннюю связь между обеими сторонами с использованием TCP-соединения. Это означает, что протокол позволяет отправлять данные от клиента к серверу и от сервера к клиенту в любой момент времени [6].

Технология WebSocket позволяет реализовать передачу данных между микроконтроллером и веб-приложением, однако основными сценариями применения являются приложения с интерактивным и динамичным контентом, такими как онлайн-чат, игры и другие приложения с интенсивным обменом данными в реальном времени. Кроме того, она требует дополнительной обработки сообщений, и надежность соединения зависит от реализации на уровне приложения [6]. Что подразумевает под собой высокие требования к знаниям языков программирования от разработчика систем, которые будут использовать данный протокол.

HTTP — Протокол передачи гипертекста Hypertext Transfer Protocol (HTTP) представляет собой наиболее распространенный способ передачи ресурсов в Интернете [7]. Он определяет правила и стандарты для передачи данных между клиентами и серверами. Он поддерживает передачу веб-страниц и данных между различными приложениями и системами. Простота и широкая поддержка делают его одним из наиболее распространенных протоколов для обмена данными в сети.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) — это простой протокол обмена сообщениями, разработанный для ограниченных устройств с низкой пропускной способностью.

В ходе анализа перечисленных протоколов передачи данных между микроконтроллерами и клиентскими приложениями, технология WebSocket была исключена из выбора. Поскольку она требует высоких знаний языков программирования, что зачастую является препятствием для инженеров по автоматизации. Кроме того, технология не является целевой для реализаций подобных решений.

Протокол MQTT показывает наилучшие результаты: меньшую скорость передачи данных при схожем объеме данных с HTTP, а также имеет большую пропускную способность, что определяет его как наиболее релевант-

ный выбор при передаче данных от шлюза Интернета Вещей на сервер, при условии беспроводной передачи данных [8].

Описание протокола MQTT

В MQTT есть несколько основных концепций:

- Опубликовать/Подписаться (Publish/Subscribe);
- Сообщения (Messages);
- Топики (Topics);
- MQTT-брокер (Broker).

Первая концепция — это идея публикации и подписки. Она подразумевает, что устройства могут публиковать сообщения на топики или подписываться на определенные топики для получения сообщений.

Например, устройство 1 публикует информацию в топик. Устройство 2 подписано на тот же топик, в которой публикуется устройство 1. Таким образом, согласно правилам протокола, устройство 2 сразу должно получить сообщение.

Вторая концепция протокола — это концепция сообщений. Сообщения — это информация для обмена между устройствами. Например, показания датчиков или команды управления.

Следующая концепция — это способ, которым устройство регистрирует интерес к входящим сообщениям или указывает, куда необходимо опубликовать сообщение, концепция топиков. Топики представлены строками, разделенными косой чертой. Каждая косая черта указывает уровень топика.

Сообщения публикуются в топики. Устройства подписываются на топики. Устройства получают только те сообщения, на топики которых оно подписано.

Протокол оснащен функцией LWT (Last Will and Testament — «последняя воля и завещание»). Она уведомляет все стороны об аварийном отключении сети [9].

За прием всех сообщений, их фильтрацию, определение тех, кто в них заинтересован, а затем публикацию сообщения для всех подписанных клиентов отвечает MQTT-брокер.

Недостатки популярных коммерческих решений mqtt-брокеров

На рынке представлено множество клиентов MQTT брокеров. Например, платформа WQTT.RU, Yandex IoT Core и другие. Они обладают рядом преимуществ, таких как: удобный пользовательский интерфейс, низкие требования к разработчикам системы.

Однако подобные решения обладают существенными ограничениями. Первое ограничение — это обеспечение обмена данными с низким уровнем защиты информации, поскольку доступ к данным получают разработчики сторонних сервисов. Это может не соответствовать требованиям к информационной безопасности разрабатываемых систем. Кроме того, все эти системы являются платными и подразумевают ежемесячную оплату.

Исходя из этого при реализации передачи данных по протоколу mqtt предлагается не использовать сторонние платформы, а выбрать mqtt-брокер с открытым исходным кодом. Его можно развернуть на том же сервере, где будут развернуты другие компоненты системы, например, web-приложение, либо на отдельном облачном сервере. Далее доработать его функционал под свой проект. Это позволяет не платить ежемесячно разработчикам сторонних платформ, а также проектировать систему более гибко, реализуя все необходимые функции без каких-либо ограничений.

Апробация

На текущий момент доступно множество mqtt-брокеров, с открытым исходным кодом. Для апробации был выбран mqtt-брокер aedes, поскольку он имеет публичный репозиторий с хорошо описанной документацией и примерами.

Aedes обеспечивает базовый механизм обмена сообщениями, позволяя клиентам публиковать и подписываться на темы. Aedes автоматически обрабатывает перенаправление сообщений для подписчиков по соответствующим темам, и это не требуется делать явно в коде. Библиотека заботится об этом, основываясь на внутренней логике. Кроме того, Aedes поддерживает механизмы аутентификации и авторизации, что позволяет реализовать различные политики безопасности. Имеется возможность настраивать пользовательские функции проверки подлинности и авторизации доступа к темам.

В рамках апробации в соответствии с правилами протокола MQTT было отправлено сообщение на топик /sensors/1 в формате json, которое содержит значение показания датчика. Сообщение было отправлено с микроконтроллера esp32 на mqtt-брокер с открытым исходным кодом, а после на mqtt-брокер WQTT.RU. Далее был разработан прототип web-приложения, которое подписывается на соответствующий топик и отображает значение датчика.

Для того, чтобы решить поставленную задачу в первую очередь был доработан mqtt-брокер aedes: под-

ключены соответствующие библиотеки, настроено логирование таких событий как подключение клиентов к брокеру, получение сообщений, отправка сообщений. А также прописаны топики, которые будет обрабатывать брокер.

Далее MQTT-брокер был развернут на удаленном сервере. Для этого были проделаны следующие действия:

1. Арендвали сервер в российской компании, предоставляющей облачные инфраструктурные сервисы и услуги дата-центров, Selectel.
2. Подключились к этому серверу через протокол SSH.
3. Установили на сервер git, чтобы загрузить доработанный код mqtt-брокера с платформы github.
4. Установили node.js для возможности запуска разработанного брокера.
5. Установили менеджер процессов pm2, который позволяет постоянно держать приложения запущенными, и запустили с помощью него mqtt-брокер.

После проделанных действий, в программное обеспечение микроконтроллера и веб-приложения был прописан ip-адрес и порт брокера, и значение датчика стало доступно для пользователей.

Для реализации такой же задачи с помощью сторонней платформы WQTT.RU потребовалось совершить меньше действий. Достаточно было оформить подписку, и платформа выдала ip-адрес и порт брокера, к которому мы можем подключаться. Логирование автоматически осуществлялось на платформе.

Заключение

Таким образом, при решении задачи беспроводного обмена данными между физическими устройствами и клиентскими подсистемами в условиях наличия сети Интернет, рекомендуется использовать протокол MQTT. Его реализация подразумевает наличие серверной системы, которая координирует сообщения между разными клиентами, — MQTT-брокера. В зависимости от требований к системе Интернета вещей и компетенций разработчиков можно использовать как сторонние MQTT-брокеры, так и открытые. Однако, открытые обладают рядом существенных преимуществ, описанных в данной статье. Но предполагают наличие дополнительных знаний при их развертывании и доработке, что является преодолимой задачей, если выбирать mqtt-брокеры с наличием качественной документации в их репозиториях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ли Цзюнь, Юй Шуанюань. Актуальность внедрения процесса цифровизации в деятельность предприятий // *Universum: экономика и юриспруденция*. 2021. №11 (86) С. 13–18.
2. Волобуева Т.А. IT-технологии в сельском хозяйстве: перспективы и проблемы использования // *Евразийское Научное Объединение*. 2020. № 8-4 (66). С. 193–196.
3. Ниточкин М. Цифровизация АПК. Модный «хайп» или реальный бизнесинструмент для отрасли // URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/229059266> (дата обращения 14.08.2020).
4. Носов Андрей Владимирович. Анализ прикладных протоколов передачи данных для систем интернета вещей // *Научные междисциплинарные исследования*. 2021. №2. С. 48–57.
5. Сабуткевич Артем Михайлович. БЕСКОНТАКТНЫЙ КОНТРОЛЬ ПОСЕЩАЕМОСТИ ПЕРСОНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ESP32 // *Инновационные аспекты развития науки и техники*. 2021. №9. С. 69–73.
6. Шестаков В.С., Сагидуллин А.С. Применение технологии websocket в web-приложениях технологического назначения // *Приборостроение*. 2015. №4. С. 328–330.
7. Benjamin D. HTTP 2.0 Specification / D. Benjamin // W3 — 1995 — [Electronic resource]. URL: <https://www.w3.org/MarkUp/html-spec/> (accessed: 05.12.2021).
8. Курмаев Т.И. СРАВНЕНИЕ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ // *МНИЖ*. 2022. №1-1 (115) С. 45–47.
9. Якупов Д.Р. ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ПРОТОКОЛОВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ: MQTT И AMQP // *International Journal of Open Information Technologies*. 2022. №9. С. 90–98.

© Гафаров Булат Рустемович (gafarovbr@student.bmstu.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕНДЕРИНГА ВЕБ-СТРАНИЦ НА ОСНОВЕ NEXT.JS ФРОНТЕНД ФРЕЙМВОРКА

ERGONOMIC ANALYSIS OF WEB PAGE RENDERING METHODS BASED ON NEXT.JS FRONTEND FRAMEWORK

**B. Goryachkin
M. Dudnik**

Summary. Problem statement. The article investigates the problem of choosing the optimal web page rendering method based on the Next.js framework. Three main methods are considered: Client-Side Rendering (CSR), Server-Side Rendering (SSR), and Static Site Generation (SSG). The relevance of the problem is driven by the need to ensure high loading speed, interactivity, and efficient resource utilization in the development of modern web applications.

Goal. To determine the most effective rendering method in terms of loading speed, interactivity, and resource utilization.

Results. The obtained data showed that SSG is the most effective method for static pages, while CSR and SSR demonstrate similar results for dynamic scenarios. The article provides recommendations for choosing a rendering method depending on the type of content and performance requirements. The analysis of Web Vitals metrics (FCP, TTI, LCP) and resource consumption (memory usage, number of network requests) confirmed the hypotheses about the impact of the rendering method choice on the performance of web applications.

Practical significance. The research results enable developers to make informed decisions when choosing a rendering method based on the type of content and performance requirements. The article provides practical recommendations for optimizing web applications based on Next.js, which contributes to improving user experience and development efficiency.

Keywords: frontend framework, Next.js, server-side rendering, client-side rendering, Web Vitals, CSR, SSR, SSG.

Горячкин Борис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
bsgor@mail.ru

Дудник Максим Валерьевич
Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
maxdudnik@mail.ru

Аннотация. Постановка проблемы. В статье исследуется проблема выбора оптимального метода рендеринга веб-страниц на основе фреймворка Next.js. Рассматриваются три основных метода: Client-Side Rendering (CSR), Server-Side Rendering (SSR) и Static Site Generation (SSG). Актуальность проблемы обусловлена необходимостью обеспечения высокой скорости загрузки, интерактивности и эффективного использования ресурсов при разработке современных веб-приложений.

Цель. Определить наиболее эффективный метод рендеринга с точки зрения скорости загрузки, интерактивности и использования ресурсов.

Результаты. Полученные данные показали, что SSG является наиболее эффективным методом для статических страниц, тогда как CSR и SSR демонстрируют схожие результаты для динамических сценариев. Статья содержит рекомендации по выбору метода рендеринга в зависимости от типа контента и требований к производительности. Анализ метрик Web Vitals (FCP, TTI, LCP) и ресурсопотребления (объем памяти, количество сетевых запросов) подтвердил гипотезы о влиянии выбора метода рендеринга на производительность веб-приложений.

Практическая значимость. Результаты исследования позволяют разработчикам принимать обоснованные решения при выборе метода рендеринга в зависимости от типа контента и требований к производительности. Статья содержит практические рекомендации по оптимизации веб-приложений на основе Next.js, что способствует улучшению пользовательского опыта и эффективности разработки.

Ключевые слова: фронтенд фреймворк, Next.js, рендеринг на стороне сервера, рендеринг на стороне клиента, Web Vitals, CSR, SSR, SSG.

Введение

В современном цифровом мире веб-сайты играют важнейшую роль в глобальной коммуникации, пространстве информации и деловых операциях. Веб-сайт состоит из статичных документов, созданных с использованием языка гипертекстовой разметки (HTML), который позволяет удобно обмениваться информацией при условии подключения к Интернету [1], [2]. При определении качества веб-сайта учитывается несколько факторов, включая скорость доступа, удобство чтения контента и согласованность макета или дизайна [3]. Сложность веб-сайта создает проблемы для

разработчиков с точки зрения производительности. Чем больше объем отображаемых данных или контента, тем сильнее это влияет на скорость отображения в браузере и время загрузки страницы [2]. Разработчик веб-сайта должен уделять приоритетное внимание не только дизайну, но и повышению производительности и скорости веб-сайта. Скорость и отзывчивость веб-сайта оказывают существенное влияние на удержание пользователей и показатели конверсии, а также на имидж бренда [4].

Для повышения производительности веб-приложений выбор метода рендеринга имеет первостепенное значение [5].

Next.js — это фронтенд-фреймворк, созданный для расширения возможностей React и поддержки рендеринга на сервере. Он основан на React и добавляет функции для генерации статических страниц (SSG) и серверного рендеринга (SSR).

Next.js позволяет создавать как статические сайты, так и динамические приложения с минимальной конфигурацией, адаптируемой под конкретные задачи. Фреймворк включает маршрутизацию на основе файловой структуры, автоматическое разделение кода, поддержку CSS и Sass.

Next.js генерирует HTML на этапе сборки или на сервере, что ускоряет загрузку и улучшает SEO. Он поддерживает три основных метода рендеринга:

- SSG (Static Site Generation, статическая генерация сайта) — генерация страниц на этапе сборки.
- SSR (Server Side Rendering, рендеринг на стороне сервера) — рендеринг страниц на сервере при каждом запросе.
- CSR (Client Side Rendering, рендеринг на стороне клиента) — рендеринг страниц в браузере.

Фреймворк позволяет комбинировать эти подходы в одном проекте, выбирая оптимальный метод для каждой страницы. По умолчанию Next.js выполняется предварительный рендеринг каждой страницы и сначала генерируется HTML для каждой страницы, так что не все делается с помощью JavaScript на стороне клиента [10]. Next.js предлагает методы предварительного рендеринга SSR (рендеринг на стороне сервера) и SSG (статическая генерация сайта), которые оптимизируют производительность и SEO [11]. Кроме того, Next.js предоставляет альтернативу CSR (рендеринг на стороне клиента).

Будет проведен сравнительный анализ эргономичности методов рендеринга в рамках Next.js фреймворка. Это исследование будет полезно разработчикам и исследователям при выборе подходящего метода рендеринга для разработки веб-приложений.

Схема алгоритма рендеринга веб-страницы

Главная цель процесса рендеринга заключается в преобразовании HTML, CSS и JavaScript в веб-страницу для обеспечения возможности взаимодействия с ней со стороны пользователя [2]. Схема алгоритма рендеринга веб-страницы представлена на рис. 1.

Рендеринг страницы делится на 3 большие части:

1. Получение исходного HTML файла
2. Парсинг HTML файла с помощью HTML Parser и поэтапное получение указанных внутри него CSS и JS файлов. При этом парсинг HTML останавливается и возобновляется в том случае, если текущий

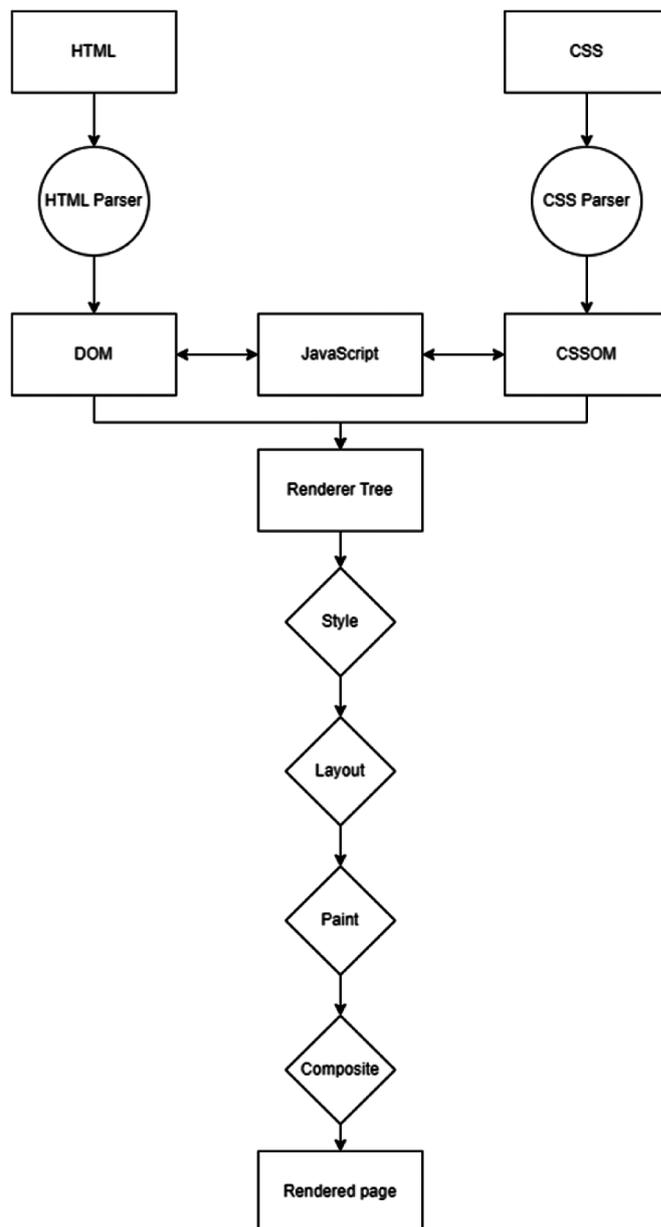


Рис. 1. Схема алгоритма рендеринга веб-страницы

CSS или JS файл полностью обработан CSS Parser или выполнен в JS Runtime соответственно. Исключение составляют скрипты с атрибутами defer и async, загружаемые параллельно ходу парсинга HTML.

3. Составление дерева рендеринга с уже включенными в него HTML элементами и CSS стилями для каждого из них, и поэтапная отрисовка этих элементов на странице с помощью 4 этапов:
 - Style — применение CSS селекторов к элементам
 - Layout — расчет положения элементов на странице и создание каркаса страницы
 - Paint — отрисовка пикселей для каждого элемента
 - Composite — применение слоев-уровней для элементов на странице

Методы рендеринга

Client-side Rendering

Client-Side Rendering (CSR) — это подход к разработке веб-приложений, при котором весь процесс рендеринга интерфейса происходит в браузере с помощью JavaScript. Сервер отправляет минимальный HTML-документ, а весь контент динамически создаётся и обновляется на клиенте после загрузки JS [8]. Этапы CSR с точки зрения браузера приведены на рис. 2.

Порядок работы CSR (Client-Side Rendering):

1. Запрос к серверу: браузер отправляет HTTP-запрос и получает минимальный HTML-файл. Обычно это пустая страница с контейнером для приложения (например, `<div id=»app»></div>`).
2. Загрузка JavaScript: браузер загружает JavaScript-файл, который содержит логику приложения и отвечает за создание интерфейса.
3. Выполнение JavaScript: после загрузки JS начинается процесс рендеринга интерфейса. JS создаёт

DOM-структуру и вставляет элементы в контейнер.

4. Запрос данных с API: приложение отправляет запросы к серверу или сторонним API, чтобы получить необходимые данные для отображения.
5. Отрисовка контента: когда данные получены, приложение обновляет DOM и браузер отображает контент на странице.
6. Интерактивность и обновления: после первого рендеринга приложение становится интерактивным. Пользователь может взаимодействовать с компонентами, и изменения интерфейса происходят без перезагрузки страницы.

Server-side Rendering

SSR (Server-Side Rendering) — это метод рендеринга веб-страниц, при котором HTML-код генерируется на сервере и отправляется в браузер в уже готовом виде. Это позволяет пользователю увидеть содержимое быстрее, по сравнению с клиентским рендерингом (CSR) [9]. Этапы SSR с точки зрения браузера приведены на рис. 3.

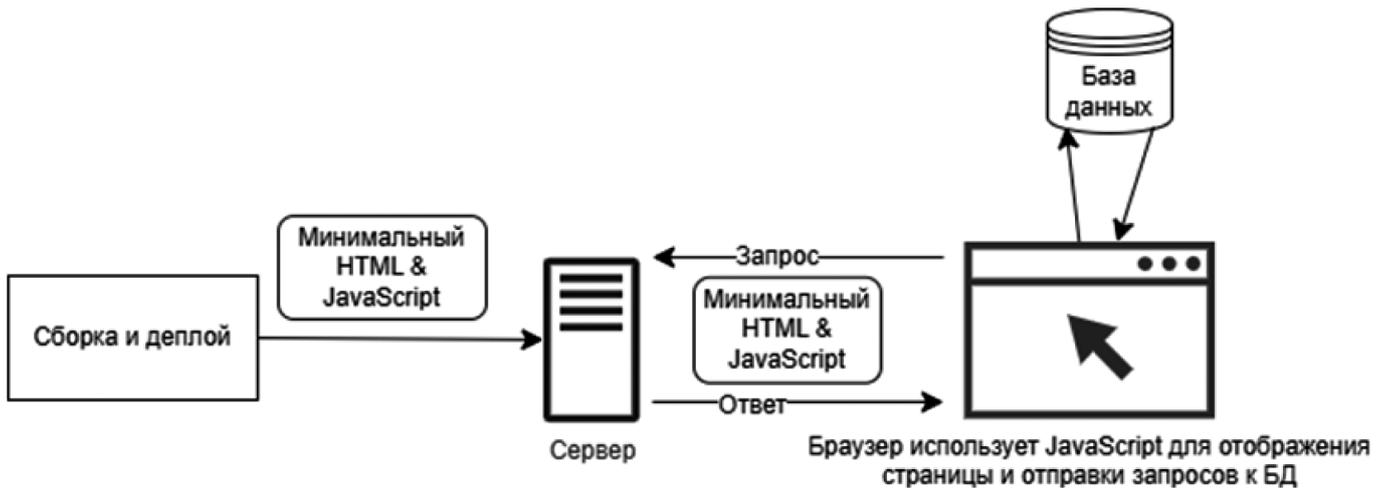


Рис. 2. Этапы CSR с точки зрения браузера

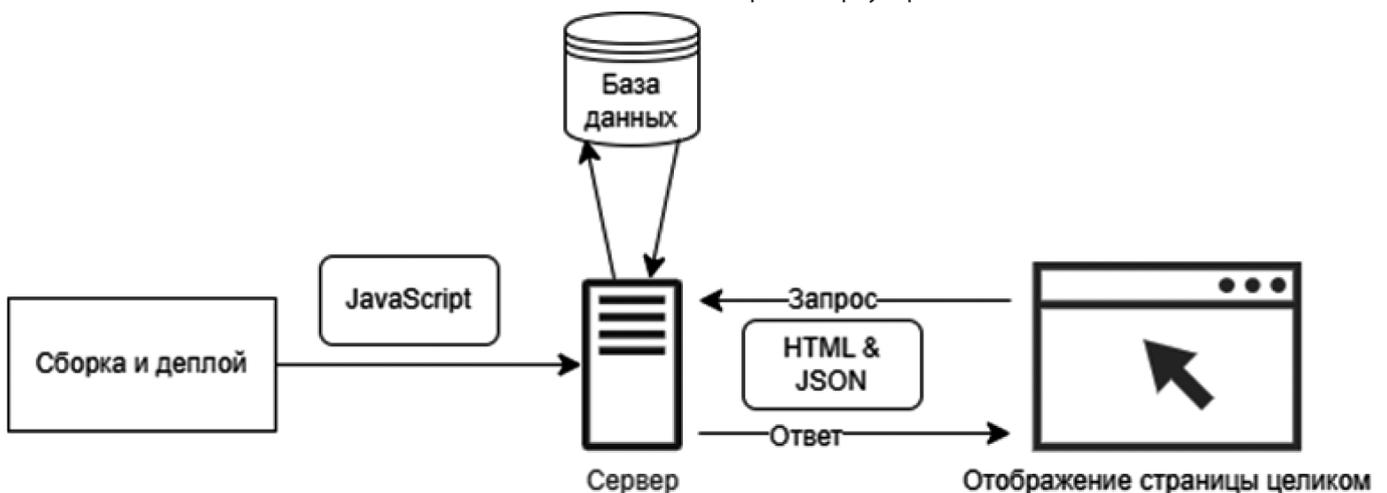


Рис. 3. Этапы SSR с точки зрения браузера

Порядок работы SSR (Server-Side Rendering):

1. Запрос от клиента: браузер отправляет http-запрос на сервер для загрузки веб-страницы.
2. Обработка запроса: сервер получает запрос, выполняет необходимую логику (например, запросы к базе данных или api).
3. Рендеринг html на сервере: сервер генерирует готовую html-страницу, выполняя шаблоны и вставляя в них данные.
4. Отправка html в браузер: сервер отправляет клиенту сформированный html с полным содержанием страницы.
5. Отображение страницы: браузер получает html и сразу отображает готовую страницу. контент становится доступным до завершения загрузки javascript.
6. Загрузка javascript и гидрация: после рендеринга html браузер загружает javascript, который добавляет интерактивность к странице. Процесс превращения статической страницы в интерактивную называется гидрацией [11].

Static Site Generation

SSG (Static-Site Generation) — это метод генерации веб-страниц, при котором HTML-файлы создаются на этапе сборки (build time) и остаются неизменными до следующей сборки. Это позволяет раздавать готовые статические страницы напрямую с сервера или через CDN, что обеспечивает быструю загрузку и высокую производительность. [11]. Этапы SSG с точки зрения браузера приведены на рис. 4.

Порядок работы SSG (Static Site Generation):

1. Сборка проекта: при запуске команды сборки (npm run build или аналогичной) приложение проходит процесс генерации всех HTML-страниц.
2. Запрос данных: во время сборки приложение делает запросы к API, базе данных или файловой

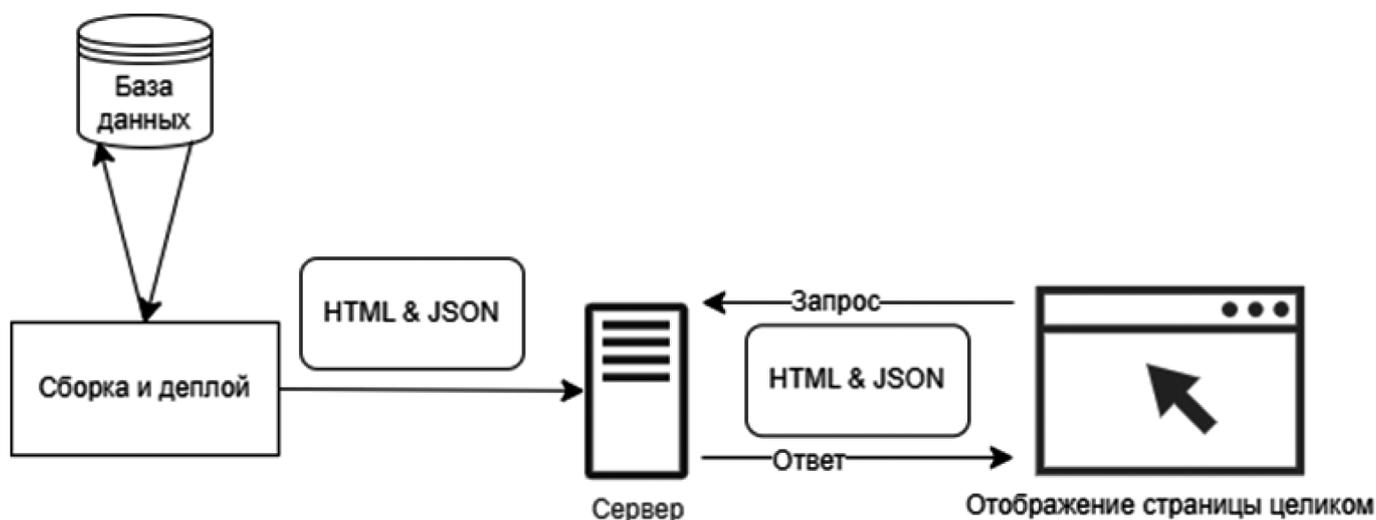


Рис. 4. Этапы SSG с точки зрения браузера

системе для получения необходимых данных (например, список постов или продуктов).

3. Генерация HTML: на основе полученных данных и шаблонов создаются статические HTML-страницы для каждого маршрута (URL). Эти страницы сохраняются как файлы на диске.
4. Развёртывание (Deployment): готовые HTML-файлы загружаются на сервер или CDN.
5. Запрос от клиента: при обращении к сайту браузер запрашивает уже сгенерированный HTML-файл, который мгновенно возвращается с сервера или из кэша CDN.
6. Отображение страницы: браузер отображает готовую HTML-страницу сразу после получения.
7. Загрузка и выполнение JavaScript: после рендеринга статической страницы загружается JavaScript, чтобы добавить интерактивность (гидрация).

Расчет времени рендеринга

Для SSR формула расчета приблизительного времени рендеринга будет иметь следующий вид:

$$T_{ssr} = T_{processing} + T_{data} + T_{build} + T_{network} + T_{render} \quad (1)$$

- $T_{processing}$ — время обработки запроса сервером
- T_{data} — получение данных (запрос к базе данных или API)
- T_{build} — сборка HTML страницы на сервере
- $T_{network}$ — время на отправку ответа на клиент
- T_{render} — рендеринг страницы браузером

Для SSG формула расчета приблизительного времени рендеринга будет иметь следующий вид:

$$T_{ssg} = N_{pages} * T_{build} + T_{network} + T_{render} \quad (2)$$

- N_{pages} — количество страниц, которые необходимо собрать

Стоит отметить, что операция по сборке страницы будет происходить на сервере всего лишь 1 раз, поэтому для клиентов такого сайта будет влиять только интернет-соединение и время браузерного рендеринга, что говорит о том, что SSG будет быстрее, чем SSR при прочих равных.

Для CSR формула расчета приблизительного времени рендеринга будет иметь следующий вид:

$$T_{csr} = T_{network} + T_{render1} + T_{js} + T_{data} + T_{render2} \quad (3)$$

- $T_{render1}$ — время рендеринга первой страницы (в основном пустая)
- T_{js} — время полной обработки JS для получения данных и отрисовки контента
- $T_{render2}$ — время рендеринга итоговой страницы

В SSG и CSR $T_{processing}$ не учитывается, так как данные представляют собой статичные CSS, JS и HTML файлы готовые к отправке клиенту.

Возьмем скорость интернета за константу, тогда $T_{networkSSR} \sim T_{networkSSG}$, но при этом $T_{networkCSR}$ будет в несколько раз меньше, так как изначально в браузер приходит пустой HTML файл с подключенными скриптами.

Исходя из приведенных выше данных можно предположить, что SSG будет наиболее эффективной в рамках метрики TTI, но будет требовать наибольшего количества памяти для работы. CSR будет иметь наибольший показатель сетевых запросов, так как все запросы будут идти на стороне клиента и наименьший объем памяти, так как HTML генерируется на устройстве пользователя.

Эффективность CSR и SSR будет зависеть от параметров сервера и устройства клиента. Если количество подключений превысит ресурс мощностей сервера, тогда T_{build} будет занимать неограниченно большое время, при этом на CSR не будет влиять количество подключений, так как сервер при таком подходе всего лишь отдает статические файлы.

Выдвижение гипотез

На основании анализа предметной области, а также формул расчета времени рендеринга были выдвинуты следующие гипотезы:

Гипотеза 1: CSR будет иметь наибольший показатель сетевых клиентских запросов

Гипотеза 2: SSR будет быстрее CSR в рамках метрики FCP

Гипотеза 3: SSG будет наиболее эффективным в рамках метрики TTI

Гипотеза 4: CSR всегда будет требовать наименьший объем памяти для работы

Аппаратное обеспечение и процедура исследования

Аппаратное обеспечение представляет собой ноутбук под управлением Windows 11 с процессором Intel(R) Core(TM) i5-1135G7 11-го поколения с тактовой частотой 2,40 ГГц.

Характеристики 2,42 ГГц, 8 ГБ оперативной памяти DDR4 и 512 ГБ SSD. Node.js., в качестве программных средств используются Visual Studio Code и инструменты разработчика в браузерах Google Chrome, Mozilla Firefox и Opera. Предметом исследования является исходный код веб-системы «Film4u» в виде файла TypeScript, основанный на платформе Next.js framework. Веб-система «Film4u» имеет веб-структуру, показанную на рис. 5. Одна из страниц этой веб-системы (страница «Подборка») показана на рис. 6.

Процедура исследования показана на рис. 7 ниже.

Измеряемые величины

В качестве измеряемых параметров были выбраны характеристики основных переменных Web Vitals, а также объем памяти и количество сетевых запросов.

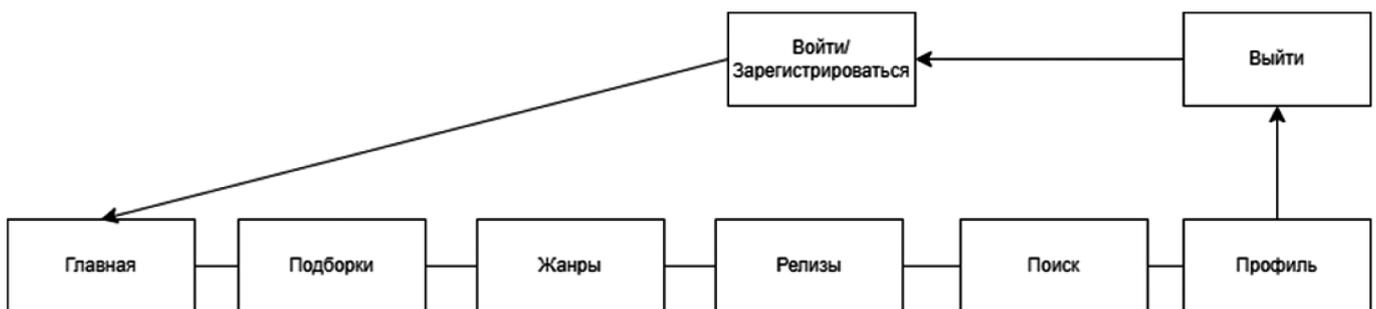


Рис. 5. Веб-структура веб-сайта «Film4u»

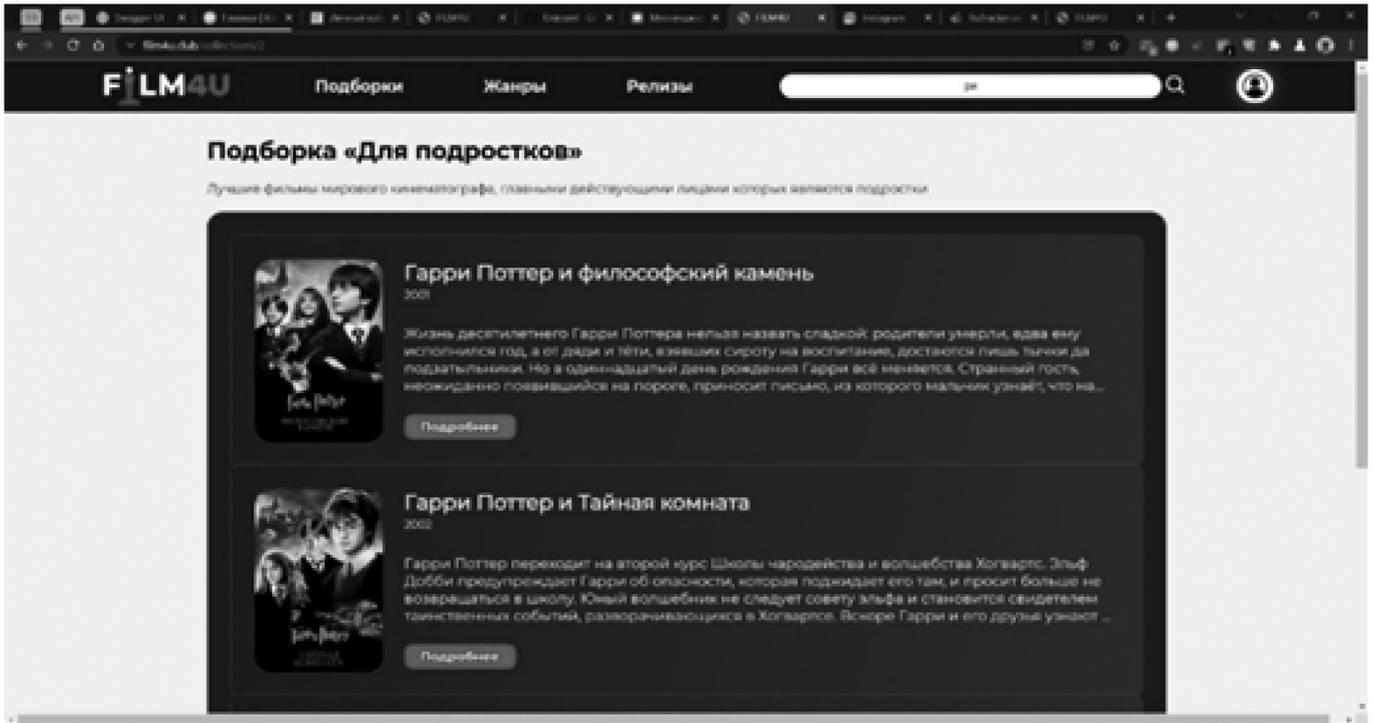


Рис. 6. Страница «Подборка»

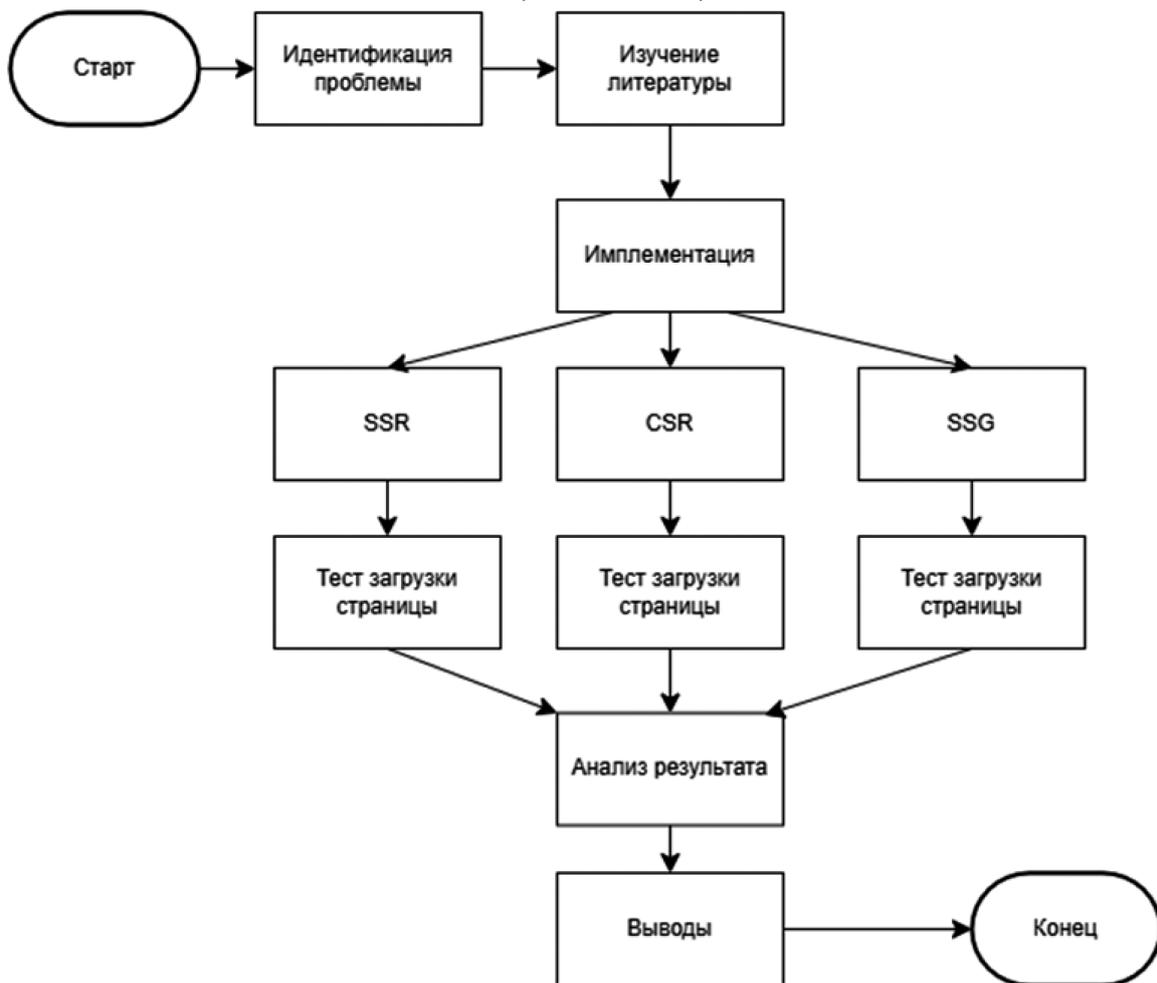


Рис. 7. Процедура исследования

Таблица 1.

Измеряемые величины

№	Измеряемые величины (Measured values)	Описание (Description)
1	Количество запросов (Number of requests)	Количество запросов на отображаемой странице (The number of requests on the displayed page)
2	Объем памяти (Memory capacity)	Количество памяти необходимое для отображения страницы (The amount of memory required to display the page)
3	FCP (First Contentful Paint)	FCP измеряет время от начала загрузки страницы до момента, когда браузер отображает первый видимый контент (например, текст, изображение или SVG) (FCP measures the time from the beginning of page loading to the moment when the browser displays the first visible content (for example, text, image or SVG))
4	TTI (Time to Interactive)	TTI измеряет время, необходимое для того, чтобы страница стала полностью интерактивной, то есть, когда все скрипты завершили свою загрузку и обработку, и страница может реагировать на пользовательские действия (TTI measures the time it takes for a page to become fully interactive, that is, when all scripts have completed their loading and processing, and the page can respond to user actions.)
5	LCP (Largest Contentful Paint)	LCP измеряет время, когда наиболее крупный видимый элемент (например, изображение, текстовый блок или видео) на странице становится видимым на экране (LCP measures the time when the largest visible element (such as an image, text block, or video) on a page becomes visible on the screen.)

Проведение измерений

Для измерения метрик WebVitals использовался инструментарий Chrome DevTools [20]. Скорость загрузки страницы была протестирована на трех страницах: «Авторизация», «Профиль» и «Главная». Каждая страница была протестирована с использованием SSR, CSR или SSG на одном и том же устройстве и с использованием одних и тех же инструментов. Видеоролики, используемые в веб-системе «Film4u», представлены в формате MP4 и имеют размер от 160 до 200 Мб. Результаты измерений представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2.

Измерения для страницы «Авторизация»

Параметр (Parametr)	SSR	SSG	CSR
Количество запросов (Number of requests)	10	10	10
Объем памяти (Мб) Memory capacity (MB)	710	710	710
FCP (мс) (Ms)	156	117	108
TTI (мс) (Ms)	274	180	422
LCP (мс) (Ms)	251	170	387

Таблица 3.

Измерения для страницы «Профиль»

Параметр (Parametr)	SSR	SSG	CSR
Количество запросов (Number of requests)	9	10	12
Объем памяти (Мб) Memory capacity (MB)	554	549	539
FCP (мс) (Ms)	253	136	248
TTI (мс) (Ms)	706	524	608
LCP (мс) (Ms)	642	493	497

Таблица 4.

Измерения для страницы «Главная»

Параметр (Parametr)	SSR	SSG	CSR
Количество запросов (Number of requests)	10	11	13
Объем памяти (Мб) Memory capacity (MB)	780	801	620
FCP (мс) (Ms)	175	101	159
TTI (мс) (Ms)	1525	1135	1350
LCP (мс) (Ms)	925	980	901

Анализ полученных результатов

Исследование показало, что SSG (Static Site Generation) обеспечивает наивысшую скорость загрузки и отображения страниц по сравнению с CSR (Client-Side Rendering) и SSR (Server-Side Rendering).

Основные выводы:

1. SSG — самый быстрый метод рендеринга.
 - Страницы заранее генерируются на этапе сборки (build time) и раздаются как готовые HTML-файлы.

- Это минимизирует задержку при загрузке и сокращает время до первой отрисовки (FCP), так как клиент сразу получает готовый контент.
 - Однако SSG эффективен только для страниц с преимущественно статическим контентом. Если информация часто обновляется, потребуется частая пересборка, что может замедлить процесс разработки и доставки новых данных.
2. CSR и SSR показывают схожие результаты в динамических сценариях.
 - CSR переносит рендеринг на клиент, что даёт высокую интерактивность, но увеличивает задержку перед первым отображением контента (FCP).
 - SSR рендерит страницы на сервере, ускоряя первую отрисовку, но увеличивая нагрузку на сервер при каждом запросе.
 3. Разница между CSR и SSR минимальна и зависит от:
 - Мощности устройства клиента (для CSR): слабые устройства могут медленно обрабатывать JavaScript, что замедляет загрузку страницы.
 - Производительности сервера (для SSR): сервер с высокой производительностью генерирует страницы быстрее, уменьшая задержку.
 4. SSR является самым безопасным методом рендеринга, так как позволяет выполнить запросы на сервер еще до получения кода клиентом, тем самым минимизировав запросы из браузера.
 5. CSR требует минимальное количество ресурсов для своей работы, так как вся нагрузка переносится на клиента. Это может помочь развивающимся компаниям, не имеющим средств на покупку мощных серверов.
 6. На статических страницах (например, «Авторизация») SSG и SSR показывают себя значительно лучше, чем CSR по метрикам TTI и LCP. Это связано с тем, что SSG и SSR способны эффективно сгенерировать статический контент и сразу же отдать его клиенту, когда CSR будет необходимо время для инициализации скриптов JS.

Оценка выдвигаемых гипотез

Оценка выдвинутых гипотез приведена в таблице 5:

Заключение

В результате работы были исследованы 3 метода рендеринга веб-страниц SSG, SSR, CSR, выделены ключевые

Таблица 5.

Оценка гипотез

№	Гипотеза (Hypothesis)	Результат (Result)	Возможные причины (Possible reasons)
1	CSR будет иметь наибольший показатель сетевых клиентских запросов (CSR will have the highest rate of network client requests.)	Истина (Truth)	Очевидно, что в рамках SSG и SSR большинство запросов будут идти на стороне сервера, когда в CSR абсолютно все сетевые запросы будут идти на стороне клиента. (Obviously, within SSG and SSR, most requests will go on the server side, while in CSR absolutely all network requests will go on the client side.)
2	SSR будет быстрее CSR в рамках метрики FCP (SSR will be faster than CSR within the FCP metric)	Ложь (False)	Ввиду маломощности используемого сервера и оптимизаций браузера и исполняемого кода JS CSR загружал первый контент быстрее, однако пользователь в SSR сразу же получал готовую страницу, а в CSR какое-то время видел белый экран, что является не лучшим пользовательским опытом. (Due to the low power of the server used and browser optimizations and executable code, JS CSR loaded the first content faster, but the user in SSR immediately received the finished page, and in CSR he saw a white screen for a while, which is not the best user experience.)
3	SSG будет наиболее эффективным в рамках метрики TTI (SSG will be most effective within the framework of the TTI metric.)	Истина (Truth)	Исходя из формул расчета SSG экономит время на повторной генерации HTML страницы, что благоприятно влияет на метрику TTI. Исследование это подтвердило. (Based on the calculation formulas, SSG saves time on re-generating the HTML page, which has a positive effect on the TTI metric. The study confirmed this.)
4	CSR всегда будет требовать наименьший объем памяти для работы (CSR will always require the least amount of memory to work with.)	Ложь (False)	На большинстве страниц CSR действительно требует меньше ресурсов памяти, однако на странице «Авторизация», представляющую из себя статическую форму для регистрации, он показывает примерно такой же результат, как и другие методы рендеринга, что говорит нам о том, что для страниц без динамического контента CSR менее эргономичен, чем SSR и SSG. (CSR does require less memory resources on most pages, but on the Authorization page, which is a static registration form, it shows about the same result as other rendering methods, which tells us that CSR is less ergonomic than SSR and SSG for pages without dynamic content.)

результаты, а также произведена оценка выдвинутых гипотез.

Все методы рендеринга используются для своих задач. SSG, хоть и показал себя самым эффективным, будет работать хуже на сайтах с динамическим, часто изменяющимся контентом. Поэтому SSG необходимо использовать только на статических сайтах с минимальной динамикой.

CSR наименее эффективен на статических сайтах и предназначен для отображения динамического контента с минимальными ресурсными затратами. Из недостатков можно отметить худшую поддержку SEO-оптимизаций, так как какое-то время пользователь видит пустой экран, а также нестабильность загрузки страницы на разных устройствах клиента.

SSR является оптимальным выбором и предоставляет самый широкий спектр возможностей: настройку SEO, скрытые запросы, балансировка нагрузки и т. д. Однако требует мощных и дорогостоящих серверов для своей работы. В моем исследовании использовался средний ноутбук и SSR показал себя хуже SSG и CSR.

SSR является оптимальным выбором и предоставляет самый широкий спектр возможностей: настройку SEO, скрытые запросы, балансировка нагрузки и т. д. Однако требует мощных и дорогостоящих серверов для своей работы. В моем исследовании использовался средний ноутбук и SSR показал себя хуже SSG и CSR.

ЛИТЕРАТУРА

1. Супратто А., Сасонгко Д. Evaluasi Performa Website Berdasarkan Pengujian Beban Dan Stress Menggunakan Loadimpact (Studi Kasus Website lain Salatiga) // Netw. Eng. Res. Oper. 2021. Т. 6, № 1. С. 31. DOI: 10.21107/nero.v6i1.198.
2. Сантоко М.Ф. Teknik Single Page Application (SPA) Layout Web Dengan menggunakan React Js Dan Bootstrap // J. Khatulistiwa Inform. 2021. Т. 9, № 2. С. 107–114. DOI: 10.31294/jki.v9i2.11357.
3. Сулиман. Analisis Performa Website Universitas Teuku Umar Dan Universitas Samudera Menggunakan Pingdom Tools Dan Gtmetrix // J. Sist. Inf. dan Sist. Komput. 2020. Т. 5, № 1. С. 24–32. DOI: 10.51717/simkom.v5i1.47.
4. Юсуф А., Нуриясин И., Сари З. Optimasi Kecepatan Loading Time Web Template Dengan Implementasi Teknik Front-End // J. Repos. 2020. Т. 2, № 11. С. 1456. DOI: 10.22219/repositor.v2i11.746.
5. Оллила Р., Макиало Н., Микконен Т. Modern Web Frameworks: A Comparison of Rendering Performance // J. Web Eng. 2022. Т. 21, № 3. С. 789–813. DOI: 10.13052/jwe1540-9589.21311.
6. Буи Д. Next.js for Front-End and Compatible Backend Solutions. South-Eastern Finland, University of Applied Science, 2023.
7. Йоханссон Й. Create React App vs NextJS, 2021.
8. Хаджин А. The Ultimate Next.js Ebook. JS Mastery, 2023.
9. Рива М. Real-World Next.js: Build scalable, high-performance, and modern web applications using Next.js, the React framework for production. Packt Publishing, 2022.
10. Лазуарди М.Ф.С., Анграини Д. Modern Front End Web Architectures with React.Js and Next.Js // Int. Res. J. Adv. Eng. Sci. 2022. Т. 7, № 1. С. 132–141.
11. Джартаргар Х.А., Далали С. React Apps with Server-Side Rendering: Next.js // J. Telecommun. Electron. Comput. Eng. 2022. Т. 14, № 4. С. 25–29.
12. Патель В. Analyzing the Impact of Next.JS on Site Performance and SEO // Int. J. Comput. Appl. Technol. Res. 2023. Ноябрь. DOI: 10.7753/ijcatr1210.1004.
13. Искандар Т.Ф., Лубис М., Кусумасари Т.Ф., Лубис А.Р. Comparison between client-side and server-side rendering in the web development // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Т. 801, № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/801/1/012136.

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru); Дудник Максим Валерьевич (maxdudnik@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ СЕРТИФИКАТ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, БАЗИРУЮЩИЙСЯ НА ИЕРАРХИЧНОСТИ

ERGONOMIC SOFTWARE CERTIFICATE BASED ON HIERARCHY

**B. Goryachkin
N. Klyukin**

Summary. Problem statement. In the context of modern programming, where software support and development are becoming priorities, it is important to take into account that the lack of ergonomics of a growing code base can lead to significant labor and financial costs. Therefore, there is a need to evaluate the ergonomics of the software.

Goal. Provide a standardized approach to evaluating software ergonomics.

Results. The issue of evaluating the ergonomics of the software is considered, the characteristics of the ergonomics of the code are determined. A software ergonomics certificate was compiled, consisting of 4 comprehensive criteria.

Practical significance. An ergonomic certificate, a hierarchical design approach, and ways to evaluate code ergonomics should provide a standardized approach to evaluating software ergonomics. This will simplify the process of software support and refinement.

Keywords: hierarchy, ergonomic certificate, ergonomics assessment, hierarchy, software, ergonomics.

Горячкин Борис Сергеевич

кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
bsgor@mail.ru

Клюкин Никита Александрович

Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
klyukin.n21@yandex.ru

Аннотация. Постановка проблемы. В условиях современного программирования, где поддержка и развитие программного обеспечения становятся приоритетными задачами, важно учитывать, что не эргономичность растущей кодовой базы может привести к значительным трудовым и финансовым затратам. В связи с чем возникает необходимость оценочных инструментов эргономичности программного обеспечения.

Цель. Предоставить стандартизированный подход к оценке эргономичности программного обеспечения.

Результаты. Рассмотрен вопрос оценки эргономичности программного обеспечения, определены характеристики эргономичности кода. Был составлен сертификат эргономичности программного обеспечения, состоящий из 4 комплексных критериев.

Практическая значимость. Эргономический сертификат, иерархический подход к проектированию и способы оценки эргономичности кода должны предоставить стандартизированный подход к оценке эргономичности программного обеспечения. Это позволит упростить процесс поддержки и доработки программного обеспечения.

Ключевые слова: иерархичность, эргономический сертификат, оценка эргономичности, иерархичность, программное обеспечение, эргономика.

Введение

Одним из важнейших аспектов качества ПО является его эргономичность. В условиях современного программирования, где поддержка и развитие программного обеспечения становятся приоритетными задачами, важно учитывать, что не эргономичность растущей кодовой базы может привести к значительным трудовым и финансовым затратам. Однако, несмотря на значимость эргономичности, на сегодняшний день отсутствуют универсальные и стандартизированные инструменты для её оценки.

Существующие стандарты, такие как ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 «Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководство по их применению», определяют ключевые характеристики качества ПО, включая функциональность,

надёжность, практичность, эффективность, сопровождаемость и переносимость [1]. Однако в них не предусмотрено конкретных методик или инструментов для оценки этих характеристик, что ограничивает их практическую применимость.

Данное исследование направлено на решение этой проблемы путем разработки эргономичного сертификата программного обеспечения, основанного на принципе иерархичности. Использование иерархического подхода обеспечивает системность оценки, позволяя учитывать как общие правила, так и конкретные показатели, необходимые для соответствия.

Виды иерархичности

В вопросе построения иерархической структуры программной системы ключевыми характеристиками

иерархии являются: количество вершин, количество рёбер, высота — количество эшелонов, ширина — максимальное количество вершин на 1 эшелоне. В рамках этих общих характеристик важно выполнение правила «7±2», означающее, что на одном уровне иерархии необходимо располагать 5–9 вершин, каждая из которых должна обладать не более чем с 5–9 рёбрами, с количеством уровней не более 5–9.

При этом, важно отметить, что в случае, когда использование явных абстракций не хватает для построения эргономичного ПО используют неявные. Примером такого использования является разбиение всего программного кода на домены, за которые он отвечает: в паттерне проектирования MVC это будет Модель — Представление — Контроллер. В рамках данного исследования мы концентрируемся на анализе иерархий явных абстракций.

Теория анализа сложности иерархий программного кода хорошо изучена научным сообществом. Так, выделяют ряд различных метрик, которые позволяют оценить иерархии модулей, классов и функций.

В рамках оценки иерархичности можно прибегнуть к оценке невязки [2].

Под невязкой подразумевают оценку отличия структуры иерархии от дерева, где 0 соответствует дереву, а 1 — полному графу, выраженную формулой:

$$Nev = \frac{2 \times (e - n + 1)}{(n - 1) \times (n - 2)}$$

Где e — количество вершин, а n — количество рёбер.

Согласно формуле невязкости имеем, что для соблюдения идеальной структуры дерева необходимо, чтобы общее количество рёбер в иерархии было на 1 меньше, чем количество вершин. Однако, возникает ситуация, когда абстракция нижнего уровня используется несколькими вышестоящими. Для того, чтобы определить оптимальное значение рассчитаем значение для следующих типов иерархий: полное дерево, широкое дерево (широкий второй уровень), узкое дерево (малый второй уровень, но более широкий последующие). При этом возьмём условие, что на уровень абстракции для каждой второй вершины нарушается правило идеального дерева (рис. 1).

Проведя расчёты получили, что максимальное значение невязки имеет широкое дерево, следовательно допустимым значением для программного обеспечения будет значение невязки равное 0,05.

Однако, приведенный выше расчёт не учитывает особенности иерархий, формируемых абстракциями.

Особенностями иерархии функция является возможное наличие на 1 уровне иерархии управляющего слоя. Это вызвано тем, что функция может отвечать за выполнение одной глобальной задачи, требующее выполнения множества действий, и, в целях эргономичного размещения, допустимо выделение логического-управляющего уровня. Поэтому для расчёта коэффициента невязкости для этой иерархии абстракций следует произвести расчёт для структуры, использующей разделяемые вершины.

Для иерархии наследования классов, согласно Р. Байнедеру, крайне желательно, чтобы у каждого наследника

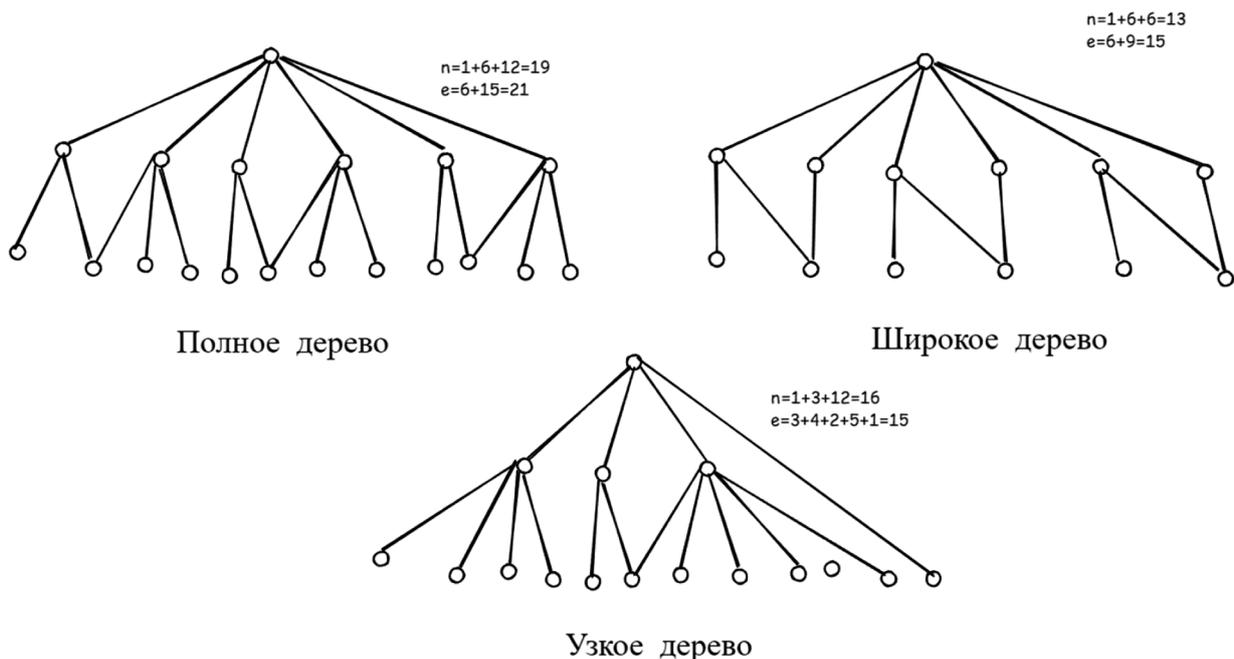


Рис. 1. Анализируемые типы деревьев

был только один, что связано с тем, что, наследуясь от нескольких родительских классов, мы получаем из обоих свойства и методы, что сильно запутывает архитектуру.

Чаще всего иерархию модулей можно условно разделить на 3 части: модули, отвечающие за отображение информации, модули бизнес-логики, модули взаимодействия с базой данных. В такой структуре явным является факт малого количества модулей, ответственных за доступ к данным из базы данных, поскольку обычно используется единый интерфейс взаимодействия. Тоже самое справедливо и для модулей ответственных за отображение информации, поскольку они также регламентируют единый интерфейс вывода [3]. Таким образом, типовой для этой абстракции является иерархия в форме юлы — верхние и нижние уровни узкие, а средние — широкие.

Расчёты произведём посредством искажения идеальной структуры дерева. При построении иерархии функции воспользуемся правилом: для каждой пары вершин нарушать идеальную структуру посредством добавления на уровень ниже разделяемой ими вершины. Для иерархии наследования классов: для каждой 10 вершины имеется 2 родителя. Для иерархии модуля: имеется широкий средний уровень в иерархии равный сумме вершин остальных модулей.

Произведя соответствующие расчёты, получили для иерархии функций значение допустимой невязкости

в 4 %, для иерархии наследования классов — в 3 %, а для иерархии модулей — в 8 %.

Таблица 1.

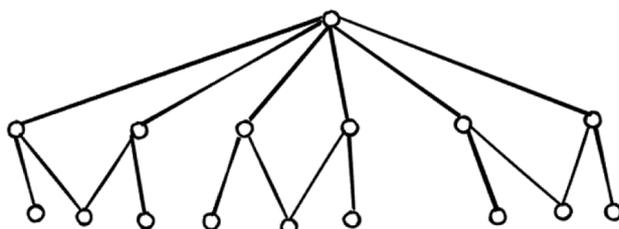
Результаты расчётов невязкости для иерархий абстракций

Функция			Класс			Модуль		
Вершин	Рёбер	Невязка	Вершин	Рёбер	Невязка	Вершин	Рёбер	Невязка
11	12	0,0444444	10	10	0,0277778	10	12	0,0833333
16	18	0,0285714	15	15	0,010989	12	14	0,0545455
21	24	0,0210526	20	21	0,0116959	13	16	0,0606061
23	26	0,017316	30	32	0,0073892	14	16	0,0384615

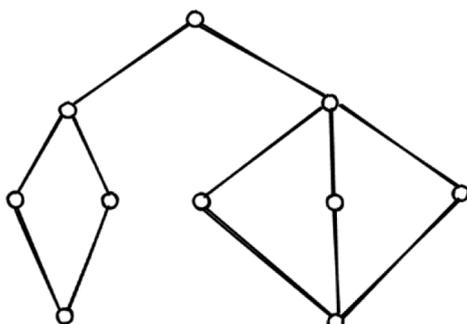
Результаты исследования подтверждаются практикой: так проанализировав архитектуру ПО с открытым исходным кодом видно, что все иерархии абстракции, применяемые в этом ПО приближены к идеальной структуре дерева. К таковым можно отнести иерархию модулей Nginx (5 вершин и 4 ребра), Hadoop Cluster (9 вершин, 8 рёбер), иерархию наследования классов в Git на примере GitObject (5 вершин, 4 ребра), VTK на примере vtkObjectBase (24 вершины, 23 рёбра) [4].

Оценка эргономичности кода

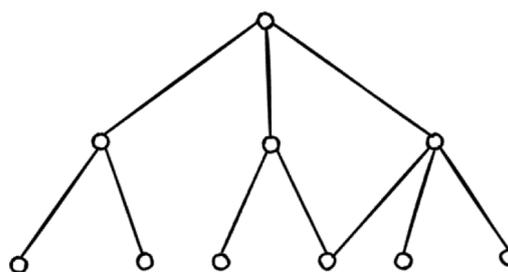
Несмотря на наличие стихийно организованных практик в сообществе, вопрос эргономики программно-



Иерархия функций



Иерархия модулей



Иерархия наследования классов

Рис. 2. Анализируемые типовые иерархии абстракций

го обеспечения требует более глубокого изучения и систематизации. Важно понимать, что такие практики как PEP8 и Java Code Convention являются руководствами к стилю написания кода на конкретном языке. В них отражены функциональные особенности, которые заложены в эти языки: Java — это ООП язык, предназначенный для крупных проектов, где требуется производительность, а Python — скриптовый язык, предназначенный для быстрой разработки. Но, как и в вопросах эргономики интерфейсов, существуют общие правила и закономерности, которые отражают эргономичность кода.

Говоря об эргономичности конкретного программного кода, выделяют характеристики читаемости, лаконичности, согласованности [5]

Характеристики читаемости — это оценка того, насколько легко другим разработчикам понять код. Эта характеристика стремится оценить, насколько написанный код следует принципу «7±2», то есть насколько наш код хорошо структурирован, но, в отличие от характеристики «иерархичности» мы смотрим на код не как на набор абстракций, а как на текстовый файл. В связи с этим, в данной характеристике мы стремимся оценить: а как следует представлять и оформлять блоки кода?

При оценке читаемости важным является оценка содержательности имён. Имена для абстракций, используемых в коде, должны работать на восприятие человека-оператора чтобы он понимал её содержание. Так, хорошей практикой является использование в именах функций глаголы или глагольные словосочетания, отражающих их функционал.

Имена переменных используют существительные либо категорию состояния для логических переменных. Также для переменных необходимо детализировать посредством пояснения того, к какой логической части программы они относятся. Так, например использование «numberUser» вместо «num» позволит быстро найти нужную переменную в коде и не создаст путаницы с тем к какой логической части она относится. Тоже самое применимо для методов и атрибутов функций.

Что же касательно наименования классов, то их принято именовать существительным, при этом, стоит отметить, что в случае использования паттернов проектирования хорошей практикой является явное указание в классе принадлежность к паттерну. Например, для паттерна GOF «Абстрактная фабрика» лучше использовать «InterfaceFactory» вместо «Interface».

Также читаемость кода повышает использование отступов. Знаки присваивания окружены пробелами, обеспечивающими их визуальное выделение. Операторы присваивания состоят из двух основных элементов:

левой и правой частей. Пробелы наглядно подчеркивают это разделение. Также более объёмные абстракции, как функция и класс, должны явно выделяться пустыми строками. Согласно устоявшимся практикам, это 1 пустая строка после объявления функции и 2 — после объявления класса. Помимо этого, имеет смысл использовать 1–2 пустые строки в структурных частях кода для отделения неких самостоятельных концепций, поскольку в ходе просмотра листинга взгляд привлекает первая строка, следующая за пустой строкой.

Использование комментариев в программном коде является распространённой практикой, повышающей читаемость программного кода. Например, их использование для статической описательной информации: описание классов и методов, использовать для описания неочевидного блока кода.

Однако использование комментарии нужно осторожно, поскольку они обладают важным свойством — подчёркивают, концентрируют внимание человека-оператора. Примером плохого использования являются избыточные комментарии, недостоверные комментарии, журнальные комментарии.

Характеристики лаконичности — это оценка того, насколько код свободен от избыточности. Лаконичный код достигается за счет использования эффективных алгоритмов и конструкций, которые минимизируют количество строк и символов, не теряя при этом ясности.

Из этого также следует, что в коде должно присутствовать минимальное количество дублирования, поскольку если что-то делается в программе снова и снова, это свидетельствует о том, что какая-то абстракция не нашла представления в коде.

Для определения максимума символов в одной строки обратимся к популярным линтерам. Так, в языке Python популярными линтерами являются Flake8, Black, Pylint. По умолчанию в них установлен размер 79, 88, 100. Для языка Java популярными решениями являются Checkstyle и он по умолчанию устанавливает ограничение в 80 символов. При этом в официальной документации к Flake8 отмечают, что в промышленной разработке разработчики зачастую повышают этот лимит до 100–120, поэтому будем считать максимально допустимым значением символов на строку равным 120 символам.

Касательно вопроса количества строк на функцию/класс прибегнем к исследованию эргономичности программного кода на языке Java, где были получены следующие цифры [6]:

1. Максимальное количество строк в классе — 1065
2. Максимальное количество строк в методе — 25
3. Максимальная длина имени метода — 25

4. Максимальное количество параметров в методе — 5
5. Максимальная длина наименования параметров метода, полей класса — 10
6. Максимальное количество полей в классе — 25
7. Максимальное количество методов в классе — 40
8. Минимальная длина наименования полей в классе, параметров в методе — 3

Характеристика согласованности подразумевает следование единому стилю наименования для параметров, методов, классов и полей, что позволяет разработчикам легче ориентироваться в коде и поддерживать его. Это подразумевает следование практикам, определенных сообществами языка, а также использования единого стиля в команде.

Для этого зачастую удобно использовать линтеры. Их основная функция заключается в статическом анализе кода, что позволяет находить ошибки и несоответствия до момента выполнения программы. Это особенно полезно для командной работы, где важно придерживаться единого стиля написания кода. Линтеры могут проверять такие аспекты, как использование пробелов, наименование переменных, длина строк и другие соглашения по стилю кодирования. Если код не соответствует установленным стандартам, линтер выдает предупреждения, что позволяет разработчикам быстро исправлять проблемы.

Сертификат эргономичности программного обеспечения

В данном исследовании предлагается оценка эргономичности программного обеспечения на помощи эргономического сертификата. Он представляет собой документ, определяющий эргономическое состояние АСОИУ и оценивающий его эргономическое обеспечение [7]. Это оценка, состоящая из 4 комплексных критериев, отражающих один из аспектов эргономичности программной системы:

- 1) Комплексный критерий эргономичности кода. Этот комплексный критерий отражает качество реализации конкретного кода. Оценивается его читаемость, лаконичность, согласованность.
- 2) Комплексный критерий эргономичности функций. Этот комплексный критерий даёт оценку качеству проектирования функций. Оценивается их сложность, иерархичность.
- 3) Комплексный критерий эргономичности классов. Этот комплексный критерий даёт оценку качеству проектирования классов. Оценивается иерархичность, а также насколько классы ПО следуют принципам ООП: инкапсуляция, наследование, полиморфизм.
- 4) Комплексный критерий эргономичности модулей. Этот комплексный критерий даёт оценку ка-

честву проектирования модулей. Оценивается их иерархичность, сцепление, связность

Таблица 2.

Сертификат эргономичности программного обеспечения

I. Комплексный критерий эргономичности кода	
1.1. Читаемость (насколько легко другим разработчикам понять код)	Содержательность имён Использование отступов Использование комментариев
1.2. Лаконичность (насколько код свободен от избыточности)	Количество строк в классе; Количество строк в методе/функции; Количество полей в классе; Количество методов в классе; Длина тела метода/функции;
1.3. Согласованность (следование единому стилю наименования для параметров, методов, классов и полей)	Следование стилистическим практикам, определенных в сообществе используемого языка;
Частные эргономические характеристики кода	
Суть характеристики	Значение нормы
1.1. В функциях используется глаголы или отглагольные сочетания	Да
1.2. Имена переменных являются существительными или категорией состояния, если переменная является логической	Да
1.3. Имена переменных детализированы	Да
1.4. Знаки присваивания окружены пробелами	Да
1.5. Минимальное количество пробелов после объявления функции	1
1.6. Максимальное количество пробелов после объявления функции	2
1.7. Количество пробелов после объявления класса	2
1.8. Максимальное количество пробелов между элементами кода	2
1.9. Для описания классов/функций/модулей присутствуют комментарии	Да
1.10. Отсутствуют журнальные комментарии	Да
1.11. Отсутствие явного дублирования в коде	Да
1.12. Максимальное количество символов в строке	120
1.13. Максимальное количество строк в классе	1065
1.14. Максимальное количество строк в методе/функции	25
1.15. Максимальная длина имени метода/функции	25

1.16. Максимальное количество параметров в методе/ функции	5
1.17. Максимальная длина наименования параметров метода, полей класса	10
1.18. Максимальное количество полей в классе	25
1.19. Максимальное количество методов в классе	40
1.20. Минимальная длина наименования полей в классе, параметров в методе	3
1.21. Наименования классов, методов, параметров, полей указано в одном из стилей, определенного в сообществе используемого языка	Да
1.22. Максимальное количество действий в одной строке	1
II. Комплексный критерий эргономичности функции	
Характеристика сложности	Разрядность функции Функциональная сложность
Характеристика иерархичности	Высота, ширина иерархии
Частные эргономические характеристики функции	
Суть характеристики	Значение нормы
2.1. Максимальная разрядность функции	3
2.2. Максимальная ширина уровня иерархии	9
2.3. Максимальное количество рёбер для одной вершины	9
2.4. Максимальное количество уровней в иерархии	9
2.5. Максимальное значение коэффициента невязки	0,04
III. Комплексный критерий эргономичности класса	
Характеристика использования ООП	Оценка инкапсуляции, Оценка наследования, Оценка полиморфизма
Характеристика иерархичности	Высота, ширина иерархии
Частные эргономические характеристики класса	
Суть характеристики	Значение нормы
3.1. Поля класса защищены и для них определён интерфейс взаимодействия	Да
3.2. Используется механизм абстрактных классов для реализации общего поведения между классами	Да
3.3. Максимальная ширина уровня иерархии	9

3.4. Максимальное количество рёбер для одной вершины	9
3.5. Максимальное количество уровней в иерархии	9
3.6. Максимальное значение коэффициента невязки для структуры наследования	0,03
IV. Комплексный критерий эргономичности модуля	
Характеристика иерархичности	Высота, ширина иерархии; Оценка Сцепления; Оценка Связности; Оценка Невязки.
Частные эргономические характеристики модуля	
Суть характеристики	Значение нормы
4.1. Максимальное значение коэффициента сцепления	4
4.2. Минимальное значение коэффициента связности	9
4.3. Максимальная ширина уровня иерархии	9
4.4. Максимальное количество рёбер для одной вершины	9
4.5. Максимальное количество уровней в иерархии	9
4.6. Максимальное значение коэффициента невязки	0,08

Заключение

Таким образом, в данной работе был изучен вопрос оценки эргономичности ПО. Важным в вопросе эргономичности ПО и выполнения правила «7±2», в частности, является оценка того, какие иерархии формируют эти абстракции. Для её определения в работе использовался коэффициент невязки, был проведён эксперимент, результатом которого стали числовые пороговые значения для каждого вида иерархий абстракций.

Также было проведено исследование того, какими характеристиками должен обладать эргономичный код, где был выявлен ряд характеристик: читаемость, лаконичность, согласованность.

В результате, был составлен сертификат эргономичности, состоящий из 4 комплексных критериев: критерий эргономичности кода, критерий эргономичности функций, критерий эргономичности классов, критерий эргономичности модулей. Структурно, в первом критерии оценивается эргономичность фактической реализации ПО, а в последних трёх критериях — насколько эргономично она спроектирована.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 «Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководство по их применению».
2. С. Орлов. Технологии разработки программного обеспечения: Учебник — СПб.: Питер, 2002. — 464 с.
3. Мартин Фаулер. Архитектура корпоративных программных приложений. — М.: Вильямс, 2006. — 544 с.
4. Чандлер Р., Брайант Р., Брайант Р. Архитектура приложений с открытым исходным кодом. Lulu.com, 2011. — 415 с.
5. Горячкин Б.С. Бакланов Н.В. Понятный код // E-Scio, 2023 г. — № 2 (77), Стр. 19–30.
6. Горячкин Б.С., Черненький С.В., Саросек М.С. Сертификат эргономичности программного кода на языке Java//Международный научный журнал «Динамика сложных систем — XXI век»: Издательство «Радиотехника» — Москва, 2022 — № 1, Стр. 13–21.
7. Горячкин Б.С. Эргономический сертификат автоматизированной системы обработки и отображения информации и управления — Стр. 25–29. Выпуск: № 9 (51) Часть 2. 2016 г. DOI: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.51.101>

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgog@mail.ru); Ключин Никита Александрович (klyukin.n21@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Джумалиев Нурдин Таалайбекович

генеральный директор, ООО «ДСКА ИНЖИНИРИНГ»,
г. Бишкек, Кыргызстан
ndjumaliev@gmail.com

METHODS OF INCREASING THE SEISMIC RESISTANCE OF METAL STRUCTURES IN THE CONDITIONS OF CONSTRUCTION AUTOMATION

N. Dzhumaliev

Summary. In modern conditions, automation has become an integral part of any process. In the construction industry, automation processes provide solutions to global challenges (increasing urbanization, environmental requirements, safety), as well as technological breakthroughs (creating digital counterparts of metal structures; 3D metal printing; smart installation using robots and computer vision). At the same time, relatively little attention is paid in science to the relationship between construction and automation. This fully applies to the issues of increasing the seismic resistance of metal structures in the context of automation of the construction industry.

The author proves that the introduction of automation in the complex method proposed in the study transforms traditional construction using metal structures in seismically active regions into a high-tech process, where: using artificial intelligence algorithms, optimal structures are designed; robotic assembly of metal structures is ensured with an accuracy several times higher than the accuracy of assembly using human labor; with the help of dampers and high-precision sensors that transmit information to automatic monitoring systems, it provides a higher level of protection for both the metal structures themselves and the building itself in case of an earthquake.

The proposed method not only increases earthquake resistance, but also sets a new standard for safe and economical construction in seismically active regions in the context of global industry automation due to the synergy of automation and adaptive technologies.

Keywords: automation, earthquake resistance, metal structures, topological optimization, seismic modeling.

Аннотация. В современных условиях автоматизация стала неотъемлемой частью любого процесса. В строительной отрасли процессы автоматизации обеспечивают решение глобальных вызовов (рост урбанизации, экологические требования, безопасность), а также технологические прорывы (создание цифровых двойников металлоконструкций; 3D-печать металлом; умный монтаж с применением роботов и компьютерного зрения). Вместе с тем, в современной науке сравнительно мало уделяется внимания вопросам взаимосвязи строительства и автоматизации. Это в полной мере относится и к вопросам повышения сейсмостойкости металлоконструкций в условиях автоматизации строительной отрасли.

Автором доказывается, что внедрение автоматизации в предложенном в исследовании комплексном методе трансформирует традиционное строительство с использованием металлоконструкций в сейсмически активных регионах в высокотехнологичный процесс, где с помощью алгоритмов искусственного интеллекта обеспечивается проектирование оптимальных структур; обеспечивается роботизированная сборка металлоконструкций с точностью, в разы превышающую точность сборки с использованием человеческого труда; с помощью демпферов и высокоточных датчиков, передающих информацию в автоматические системы контроля, осуществляется более высокий уровень защиты как самих металлоконструкций, так и самого здания при землетрясении.

Предложенный метод не только повышает сейсмостойкость, но и задает новый стандарт для безопасного и экономичного строительства в сейсмоактивных регионах в условиях глобальной автоматизации отрасли за счет синергии автоматизации и адаптивных технологий.

Ключевые слова: автоматизация, сейсмостойкость, металлоконструкции, топологическая оптимизация, сейсмическое моделирование.

Введение

В современных условиях автоматизация в строительной отрасли — это не только основное направление изменений и развития данной сферы, но и адекватный ответ на вызовы XXI века. Во-первых, за счет автоматизации становится возможным создание безопасных, долговечных и экономически эффективных объектов. Во-вторых, внедрение автоматизации в строительной отрасли позволяет сократить риски и обеспе-

чить сохранение ресурсов. В условиях растущих требований к устойчивости и безопасности строительных конструкций отказ от автоматизации ставит под угрозу конкурентоспособность строительных компаний и безопасность людей. Автоматизация позволяет не только ускорить строительство, но и повысить точность расчетов и увеличить эффективность строительства в наиболее критичных для данной отрасли направлениях, в том числе таких, как сейсмоопасные регионы. В ограниченных рамках настоящего исследования наибольший

практический интерес вызывает проблематика повышения сейсмостойкости металлоконструкций.

Автоматизация строительства и повышение сейсмостойкости металлоконструкций — направления взаимосвязанные, которые можно эффективно комбинировать для создания безопасных и надежных зданий в сейсмически активных регионах. Так, автоматизация позволяет не только ускорить строительство с использованием металлоконструкций, но и повысить точность наиболее критических для обеспечения сейсмостойкости операций, начиная проектированием и заканчивая монтажом. Комбинация робототехники, искусственного интеллекта и материалов необходимой прочности позволяет создавать металлоконструкции, способные выдерживать экстремальные нагрузки, минимизируя человеческий фактор.

В настоящее время все современные исследования, в основу которых заложены технологии повышения сейсмостойкости металлоконструкций, в большей степени ориентированы именно на их прочностные характеристики. В свою очередь, вопросам выработки методики повышения сейсмостойкости металлоконструкций с применением автоматизации внимания практически не уделяется.

Так, в частности, работа С. Fang, W. Wang, С. Qiu, S. Hu, G.A. MacRae, M.R. Eatherton [1] ориентирована на важность использования высокопрочных сталей, обеспечивающих улучшенную пластичность и способность конструкций сохранять целостность при сильных сейсмических воздействиях, за счет чего значительно снижается риск разрушения в условиях экстремальных нагрузок. Работа М.М. Kharnoob, A.I. Hammood [2] ориентирована на применение современных сплавов с улучшенными механическими свойствами, которые способствуют увеличению прочности конструкций в условиях сейсмической активности. Q. Xu, H. Chen, W. Li, S. Zheng, X. Zhang [3] акцентировали внимание на усилении сварных соединений, рассматривая их как ключевые элементы для повышения жесткости и устойчивости конструкций. В своих работах они описывали методы усиления соединений, которые позволяли улучшить способность конструкций противостоять динамическим нагрузкам, возникающим при землетрясениях. Q. An, С. Wang, T. Ma, F. Zou, Z. Fan, E. Zhou et. al. [4] фокусировались на болтовых соединениях, подчеркивая их важность для повышения общей прочности металлоконструкций, при этом авторы исследования акцентировали свое внимание на том, что качественная обработка и усиление этих соединений увеличивали жесткость всей конструкции и предотвращали разрушение при сильных сейсмических нагрузках.

A.M. Cerapon, R.I. Cotetiu, V. Nasui [5] доказали эффективность использования демпфирующих элементов,

таких, как резинометаллические подушки, необходимые для снижения вибрационных колебаний в конструкциях за счет уменьшения амплитуды колебаний. Существуют также исследования, ориентированные на анализ роли демпфирующих систем в повышении безопасности конструкций, а также на выработку оптимального подхода к выбору технологий виброгашения [6].

R. Ridwan, Y. Jemaa, E.Yuniarto [7] доказали объективность и эффективность использования арматурных каркасов для укрепления металлоконструкций, улучшая их устойчивость к деформациям при землетрясениях. L. Huang, H. Li, S. Xu, B. Dai [8] исследовали роль свайных конструкций в улучшении сейсмостойкости металлоконструкций, предлагая методы их интеграции в проектирование для укрепления фундамента. Они утверждали, что такие системы могли бы значительно повысить стабильность и предотвращать оседание моста в условиях сильных сейсмических колебаний. I. Iervolino, R. Baraschino, A. Spillatura [9] акцентировали внимание на важности соблюдения сейсмических норм и стандартов при проектировании металлоконструкций для обеспечения их устойчивости. Авторы подчеркивали, что интеграция таких норм в проектирование помогала существенно улучшить сейсмоустойчивость объектов и уменьшить риски разрушений. Такие исследователи, как J.L. Zhang, G. Li, D.H. Yu, Z.Q. Dong [10], разработали подход к проектированию металлоконструкций, включающий применение различных методов усиления и сейсмоустойчивого проектирования.

Вместе с тем, во всех проанализированных исследованиях, направленных на изучение возможностей повышения сейсмостойкости металлоконструкций, не уделяется никакого внимания взаимосвязи повышения сейсмостойкости в условиях автоматизации строительной отрасли, в то время как современные технологии автоматизации дают возможность разработать комбинированный подход, включающий топологическую оптимизацию металлоконструкций с использованием алгоритмов искусственного интеллекта и роботизированную сборку с адаптивными демпферами.

Наиболее оптимальной в данном случае является разработка комплексной методики с использованием автоматизированного проектирования и моделирования (BIM-технологии (Building Information Modeling)), топологической оптимизации и сейсмического моделирования.

Так, использование BIM-технологий позволит создавать так называемый «цифровой двойник металлоконструкции» с учетом сейсмических нагрузок, а алгоритмы программы автоматически проверят все узлы на усталостную прочность, оптимизируют геометрию и распределение материала. Топологическая оптимизация при

использовании программ (например, на базе алгоритмов генеративного дизайна) позволяет автоматически генерировать формы металлоконструкций сразу, минимизируя массу конструкции при сохранении ее жесткости и устойчивости к динамическим нагрузкам. Что касается сейсмического моделирования, то в данном случае речь идет об использовании таких программ, как ANSYS, ETABS или SAP2000, позволяющих автоматизировать расчеты сейсмических воздействий, подбирая оптимальные схемы демпфирования и армирования металлоконструкций при строительстве.

Материалы и методы

В ходе исследования применялись методы динамического и сейсмического анализа, а также сравнительный подход для оценки эффективности материалов и систем при воздействии сейсмических нагрузок. Проанализированы различные методы повышения сейсмостойкости металлоконструкций, включая использование высокопрочных материалов, усиление соединений, внедрение эластичных демпфирующих элементов и оптимизацию проектных решений с учетом процессов автоматизации, основанных на технологиях искусственного интеллекта.

Результаты и обсуждения

Повышение сейсмостойкости металлоконструкций в условиях автоматизации строительной отрасли требует выработки соответствующей методики и обоснования ее использования. С учетом данных о повышении сейсмостойкости металлоконструкций, отраженных в уже имеющихся исследованиях [5, 7, 8], а в данном исследовании предлагается метод повышения сейсмостойкости металлоконструкций, в основу которого будет заложен комбинированный подход, включающий топологическую оптимизацию конструкций с использованием алгоритмов искусственного интеллекта и роботизированную сборку с адаптивными демпферами. Технологически предлагаемый в рамках настоящего исследования метод состоит из трех этапов: автоматизированное проектирование; роботизированный монтаж; система мониторинга.

На первом этапе — этапе автоматизированного проектирования, используется специальное программное обеспечение, необходимое для топологической оптимизации с учетом сейсмических нагрузок. Алгоритмы искусственного интеллекта, заложенные в программное обеспечение, позволяют осуществлять расчет исходя из минимизации массы конструкции, но с учетом всех необходимых параметров максимизации жесткости металлоконструкции и с учетом правильного распределения напряжений. В промышленных отраслях свою эффективность в расчетах для решения задач прочности и оптимизации показало программное обеспечение Altair OptiStruct. После осуществления всех необходи-

мых расчетов на данном этапе осуществляется интеграция расчетов, полученных с помощью Altair OptiStruct с BIM-платформами, для моделирования поведения здания при землетрясениях (возможно использовать любую платформу, где обеспечена интеграция программного обеспечения с Altair OptiStruct).

На втором этапе — этапе роботизированного монтажа, осуществляется применение промышленных роботов для точной установки узлов и сварки. В промышленности достаточную эффективность показало применение сварочных роботов KUKA и ABB, особенно в сегменте тяжелой робототехники грузоподъемностью 120 кг и более. Погрешность позиционирования при использовании роботизированного монтажа составляет до 0,1 мм [3], что исключает возможность появления слабых мест в соединениях. На этом же этапе должен осуществляться монтаж адаптивных демпферов с памятью формы (SMA-сплавы), активируемых при нагрузках [6, 7].

Третий этап связан с организацией системы мониторинга. На данном этапе осуществляется внедрение датчиков (акселерометры, тензодатчики) для онлайн-отслеживания деформаций. Данные с таких датчиков обрабатываются в реальном времени для коррекции демпфирования [9]. Адаптивные системы демпфирования с автоматизацией позволяют менять жесткость в зависимости от данных датчиков. Например, при землетрясении 7 баллов система за 0,5 сек увеличивает демпфирование с 5 % до 12 %. Машинное обучение программного обеспечения прогнозирует пиковые нагрузки и заранее активирует демпферы.

Для того, чтобы предлагаемый метод мог быть эффективно внедрен в строительство, необходимо сделать расчет его эффективности. Для оценки эффективности предложенного метода проведен динамический анализ методом спектрального реагирования (стандарт Еврокод 8, позволяющий учитывать нелинейную работу конструкций и не противоречащий требованиям российских стандартов в области сейсмостойкости) и конечно-элементным моделированием (с использованием программного обеспечения ANSYS).

При проведении исследования брались следующие исходные данные: сейсмическая нагрузка 7 баллов по шкале сейсмической интенсивности MSK-64 (горизонтальное пиковое ускорение грунта 0,3 g, спектр реакции типа I, грунт категории C). Типы сравниваемых металлоконструкций: традиционная металлоконструкция — стальной каркас с жесткими узлами (двутавры, швеллеры) и оптимизированная металлоконструкция: топологически оптимизированная структура с адаптивными демпферами SMA (никель титановые сплавы). Сравнение параметров представим в таблице 1.

Таблица 1.
Таблица сравнения параметров металлоконструкции для оценки эффективности

Параметр	Традиционная металлоконструкция	Оптимизированная металлоконструкция	Изменение
Масса конструкции (тонн)	100	85	-15 %
Максимальное напряжение (МПа)	320 ($\sigma_{all} = 250$ МПа)	220 ($\sigma_{all} = 250$ МПа)	-31 %
Смещение (мм)	150 ($\Delta_{all} = 200$ мм)	90	-40 %
Коэффициент демпфирования (ζ)	5 %	12 %	+140 %
Собственная частота (Гц)	2,5	3,2	+28 %

Расчёт коэффициента демпфирования осуществлен из следующего выражения:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{m * k}}$$

В представленной формуле c — эффективность демпфера SMA (никель титановые сплавы), m — масса металлоконструкции; k — жесткость металлоконструкции. Результаты расчетов, проведенных в программе, показали, что чем выше коэффициент демпфирования, тем ниже резонансные колебания, что соответствует выводам из исследований [6, 7].

Напряжения в элементах рассчитывались исходя из следующего выражения:

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \sigma_{all}$$

В представленной формуле F — сила, а A площадь сечения. F критический параметр для оценки прочности. Оптимизация и демпферы снижают эффективную силу, действующую на элементы, что повышает сейсмостойкость. В традиционной конструкции сила (F) распределяется неравномерно, поэтому пиковые напряжения в слабых узлах достигают 320 МПа. В оптимизированной конструкции за счет топологии и демпферов посредством использования автоматизированных технологий показана необходимость увеличения площади сечения в ключевых зонах, что позволяет снизить напряжение конструкции до 220 Мпа. Важно отметить и тот факт, что демпферы SMA (никель титановые сплавы) поглощают часть силы (F), уменьшая её передачу на каркас металлоконструкции. За счет топологической оптимизации и программных автоматизированных расчетов доказано, что наиболее эффективной конструкцией будет конструкция с увеличенной площадью сечения (A) в ключевых узлах на 20 %.

Для расчета смещения (прогиба) конструкции использовалась следующая формула:

$$\Delta = \frac{FL^3}{3EI}$$

В представленной формуле L — это длина элемента металлоконструкции, на которую действует сила (F). Это критический параметр, так как смещение растет пропорционально кубу длины. Чем длиннее элемент, тем больше он деформируется под нагрузкой. EI — повышение жесткости. В традиционной конструкции длинные элементы приводят к значительным смещениям при землетрясении. В оптимизированной конструкции уменьшение длины за счет топологической оптимизации (например, добавление раскосов или изменение формы узлов в программе) при одновременном увеличении жесткости конструкции снижает прогиб.

Для того, чтобы оценить применимость предложенного метода повышения сейсмостойкости металлоконструкций с применением автоматизации, необходимо оценить его экономическую эффективность. Экономическая эффективность оценивается по снижению прямых затрат (материалы, труд) и косвенным выгодам (долговечность, безопасность). Рассмотрим ключевые параметры: снижение расхода стали на 15 % (таблица 1); сокращение сроков монтажа (если традиционный монтаж металлоконструкций будет занимать 100 дней, то роботизированный около 80 дней, что обеспечит экономию времени на 20 %). Основные затраты на внедрение технологий придутся на приобретение специализированного программного обеспечения и роботизированной техники, обучение персонала с работой в условиях автоматизации, а также потребуются осуществить дополнительные расходы на адаптивные демпферы SMA.

Даже с учетом таких первоначальных вводных очевидна экономическая эффективность от предлагаемого метода. Конкретный расчет срока окупаемости проекта должен быть осуществлен под каждый конкретный проект с учетом его специфики и особенностей. Косвенными выгодами от внедрения метода, ориентированного на автоматизацию, будут: снижение риска разрушения, а соответственно и уменьшение расходов на страхование объекта и репутационные преимущества за счет повышения лояльности клиентов в сейсмоопасных регионах. Предложенный метод интегрирует автоматизацию на всех этапах жизненного цикла металлоконструкций при их использовании в сейсмически опасных регионах — от проектирования до монтажа и эксплуатации. Это не только повышает сейсмостойкость, но и обеспечивает экономическую эффективность за счет оптимизации ресурсов и снижения человеческих ошибок.

ВЫВОД

Подводя итог, необходимо отметить, что внедрение автоматизации в предложенном в исследовании методе трансформирует традиционное строительство с использованием металлоконструкций в сейсмически активных регионах в высокотехнологичный процесс, где с помощью алгоритмов искусственного интеллекта обеспечивается проектирование оптимальных структур; обеспечивается роботизированная сборка металлоконструкций с точностью, в разы превышающую точность сборки с использованием человеческого труда; с помо-

щью демпферов и высокоточных датчиков, передающих информацию в автоматические системы контроля, осуществляется более высокий уровень защиты как самих металлоконструкций, так и самого здания при землетрясении.

Предложенный метод не только повышает сейсмостойкость, но и задает новый стандарт для безопасного и экономичного строительства в сейсмоактивных регионах в условиях глобальной автоматизации отрасли за счет синергии автоматизации и адаптивных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fang, C., Wang, W., Qiu, C., Hu, S., MacRae, G. A., & Eatherton, M. R. (2022). Seismic resilient steel structures: A review of research, practice, challenges and opportunities. *Journal of Constructional Steel Research*, 191, 107172. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X2200044X>
2. Kharnoob, M.M., & Hammood, A.I. (2021). A review: The structures of vibration control devices of Zn and Fe based on memory system alloy. *Materials Today: Proceedings*, 42, 3035–3040. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320405437>
3. Xu, Q., Chen, H., Li, W., Zheng, S., & Zhang, X. (2022). Experimental investigation on seismic behavior of steel welded connections considering the influence of structural forms. *Engineering Failure Analysis*, 139, 106499. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630722004733>
4. An, Q., Wang, C., Ma, T., Zou, F., Fan, Z., Zhou, E., ... & Chen, M. (2024). Aeronautical composite/metal bolted joint and its mechanical properties: a review. *Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment*, 5(1), 70–91. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/jimse-12-2023-0012/full/html>
5. Cerapon, A.M., Cotetiu, R.I., & Nasui, V. (2023). Considerations on the Current State of Research on Vibration Testing of Rubber-Metal Products. *Scientific Bulletin Series C: Fascicle Mechanics, Tribology, Machine Manufacturing Technology*, 2022(37). https://nordtech.ubm.ro/issues/2023/4.BSSC_v2023_issXXXVII_10to13.pdf
6. Li, H., Askari, M., Li, J., Li, Y., & Yu, Y. (2021). A novel structural seismic protection system with negative stiffness and controllable damping. *Structural Control and Health Monitoring*, 28(10), e2810. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/stc.2810>
7. Ridwan, R., Jemaa, Y., & Yuniarto, E. (2023). Various Methods of Strengthening Reinforced Concrete Beam-Column Joint Subjected Earthquake-Type Loading Using Fibre-Reinforced Polymers: A Critical Review. *Journal of Applied Materials and Technology*, 4(2), 42–55. <https://www.jamt.icaancee.org/index.php/jamt/article/view/74>
8. Huang, L., Li, H., Xu, S., & Dai, B. (2023). Structural system design and earthquake response analysis of prefabricated pile-plate bridge. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22(4), 2263–2274. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13467581.2022.2145217>
9. Iervolino, I., Baraschino, R., & Spillatura, A. (2023). Evolution of seismic reliability of code-conforming Italian buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 27(7), 1740–1768. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13632469.2022.2087801>
10. Zhang, J.L., Li, G., Yu, D.H., & Dong, Z.Q. (2024). Framework for seismic risk analysis of engineering structures considering the coupling damage from multi-environmental factors. *Journal of Structural Engineering*, 150(10), 04024147. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JSENDH.STENG-13340>

© Джумалиев Нурдин Таалайбекович (ndjmaliev@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ КОДА GOLANG

EVALUATION OF STATIC ANALYZERS OF GOLANG CODE

O. Evdoshenko

Summary. The article provides an overview the static analyzers of code: golangci-lint, svace, bearer and the Golang. The paper presents templates of regular expression for parsing the output of analyzers. The fields that can be extracted from the outputs of static analyzers are described. The number of unique errors in the analyzers before and after processing was revealed. The criteria for filtering analyzers are described.

Keyword: Golang, static analyzers, regular expression, parsing, syntax error.

Евдошенко Олег Игоревич

кандидат технических наук, доцент, МИРЭА —
Российский технологический университет (г. Москва)
evdoshenko@mirea.ru

Аннотация. В статье дано общее представление об статических анализаторах кода: golangci-lint, svace, bearer и языке Go. В работе представлены шаблоны регулярных выражений для парсинга вывода анализаторов. Описаны поля, которые можно извлечь из выводов статических анализаторов. Выявлено количество уникальных ошибок у анализаторов до и после обработки. Описаны критерии фильтрации анализаторов.

Ключевые слова: Golang, статистический анализатор, регулярное выражение, парсинг, синтаксическая ошибка.

Актуальность исследования

Актуальность исследования обуславливается тем, что в современной разработке все больше ценится скорость разработки и быстрый выход на рынок с программным обеспечением, но при этом разрабатываемый программный продукт должен быть безопасен, поскольку нетривиальное поведение программы и проблемы с безопасностью могут повлечь убытки превышающие выгоды от быстрой разработки. К тому же проверка кода на безопасность очень трудоемкий процесс для разработчиков, далеко не всегда приносящий необходимый результат. В связи с этим возникла потребность в автоматической проверке программного обеспечения.

Цель данного исследования — оценить необходимые условия для анализа и провести общую оценку анализаторов.

Общее представление об анализаторах кода и языке Go

Одним из подходов к автоматической проверке кода является статический анализ кода. Статический анализ кода обладает рядом преимуществ, такие как масштабируемость, отсутствие необходимости запускать программное обеспечение на тестовых входных данных, которые делают его довольно эффективным при разработке программного обеспечения. Но также статический анализ кода имеет ряд недостатков, возникающих из принципиальной невозможности определить понятие алгоритм и его свойств, которые не позволяют однозначно определить является инструмент для ста-

тического анализа кода полезным при использовании в разработке или нет, поэтому для оценки статических анализаторов языка Go требуется описать методику для выявления наилучший решений для статического анализа кода, которая с определенной степенью достоверности оценивает полезные свойства инструментов для статического анализа кода.

Также поскольку язык Go является относительно новым языком, для него еще не выявлены лучшие практики и не созданы признанные инструменты для статического анализа, возникает необходимость в исследовании готовых решений для статического анализа кода Golang, их оценки и выявления наиболее эффективных статических анализаторов, границ их применения и недостатков, а также создания программного продукта для статического анализа кода, дополняющего наиболее перспективные для применения анализаторы и перекрывающий часть их недостатков.

golangci-lint — это мощный инструмент для статического анализа кода на языке программирования Go. Он объединяет множество линтеров, позволяя разработчикам находить и исправлять потенциальные проблемы в коде, улучшая его качество и поддерживаемость.

svace — представляет собой инструмент статического анализа, который используется для выявления уязвимостей в исходном коде программных приложений. Он предоставляет разработчикам и командам безопасности мощные средства для обнаружения потенциально опасных паттернов и уязвимостей в коде до его компиляции или выполнения.

Статистический анализатор `bearer` обычно используется для оценки и анализа данных, связанных с использованием токенов доступа в системах аутентификации и авторизации.

Описание необходимых условий для анализа и общая оценка анализаторов

Для дальнейшей оценки статических анализаторов недостаточно просто ручной обработки выводов статических анализаторов. Требуется написать обработчик выводов исследуемых статических анализаторов для дальнейшей машинной обработки данных [1].

Обработчики выводов будут представлять из себя лексеры для выделения токенов и преобразователи токенов в нужный формат данных. Формат данных для обработки выбран CSV.

Для написания лексера для `golangci-lint` будет использоваться генератор кода конечных автоматов [2] `flex`, а для преобразования данных в формат CSV будет написана программа на C++, а для анализа выводов `svace` и `bearer` будут написаны программы преобразователи на основе регулярных выражений.

Для обработки выводов анализаторов требуется тем или иным способом пройти конечным автоматом [2] по тексту вывода и на основе регулярных выражений выделить токены отвечающие за определенные данные в выводе.

Регулярные выражения для парсинга вывода `golangci-lint` могут иметь следующий шаблон: `\\.go:\\d+` (имя файла), `«^.*?\\.go»` (номер строки с ошибкой), `«:\\d+»` (колонка, где найдена ошибка), `«:.*\\(«` (сообщение об ошибке), `\\(.*?\\)»` (анализатор указавший на ошибку).

Регулярные выражения для парсинга вывода `svace` могут иметь следующий шаблон: `^\\.*:` (сообщение об ошибке), `^:.*`` (описание ошибки), `^:\\d*$`` (номер строки с ошибкой), `^\\..*\\.go:` (имя файла).

Регулярные выражения для парсинга вывода `bearer` могут иметь следующий шаблон: `^\\.*:` (уровень ошибки, сообщение об ошибке), `^:.*:` (имя файла), `^\\ \\d*`` (номер строки, содержащей ошибку).

Далее для получения формата CSV требуется вывести подряд все токены, с используемым разделителем, для CSV разделителем может быть любой символ, либо последовательный набор символов, для отображения принадлежности к полю, добавляется заголовочная строка, отображающая имена полей.

Поля, которые в большинстве случаев можно извлечь из выводов статических анализаторов представляются следующим образом:

- имя файла, в котором зафиксирована ошибка;
- строка, в которой обнаружена ошибка;
- колонка, в которой найдена ошибка;
- уровень значимости ошибки;
- правило, которое обнаружило ошибку или название анализатора, нашедшего ошибку, в случае использования агрегатора;
- словесное описание ошибки;
- локальные строки кода, в которых обнаружена ошибка.

После получения преобразованных данных в формате CSV их можно машинным образом обработать и получить общие оценки анализаторов.

Рассмотрим пересечение ошибок анализаторов. Для этого представим все уникальные срабатывания анализаторов как множество и посмотрим, как пересекаются множества разных анализаторов.

В результате можно выявить количество уникальных ошибок у анализаторов:

- `svace` — 94;
- `bearer` — 52;
- `golangci-lint` — 851 (из них пересечение с `bearer` — 10).

После просмотра ошибок и построения отношения срабатываний становится очевидным, что многие анализаторы, включенные в `golangci-lint`, являются либо субъективными, либо срабатывают слишком часто, выдавая слишком много ложных срабатываний. Очевидно, что это исказит результаты дальнейшего исследования. Чтобы это предотвратить требуется подавить неэффективные анализаторы внутри `golangci-lint`.

Для того чтобы подавить неэффективные анализаторы нужно пройти по всем ошибкам и выявить те анализаторы, которые очень часто ошибаются и при этом не выдают релевантные ошибки.

После просмотра ошибок, выявляется недостаток анализаторы `golangci-lint`: в нем очень много анализаторов, которые нацелены на соблюдение некоторых субъективных стандартов кодирования, все такие анализаторы необходимо подавить.

Также подавляются общие ошибки `golangci-lint` и `bearer` с целью убрать пересечение и работать только с уникальными ошибками для выявления специализации анализаторов. Подавляться они будут в пользу `bearer`, поскольку, если подавить их в пользу `golangci-lint` окажется, что исчезнут многие уникальные ошибки, выявленные только `bearer`, что уже само по себе говорит о том, что `bearer` больше специализируется на них и лучше с ними работает. Напротив, `golangci-lint` ничего не теряет от такого подавления, кроме этих общих ошибок.

После подавления отношение приобретает совершенно другой вид.

Количество уникальных ошибок у анализаторов:

- svace — 94;
- bearer — 51;
- golangci-lint — 72 (из них пересечение с bearer — 1).

Теперь отношение удовлетворяет представлениям о том, как должны выглядеть релевантные срабатывания анализаторов и в каких пропорциях должны находиться. Также можно сделать вывод, что анализаторы имеют практически нулевое пересечение, из чего следует вывод, что они специализированы на разных аспектах анализа кода программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меньшиков М.А. Обзор моделей работы статических анализаторов // Труды Института системного программирования РАН. — 2021. — №33. — С. 27–40.
2. Хопкрофт Д., Мотепани Р., Ульман Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. — 1-е изд. — СПб.: Вильямс, 2008. — 528 с.
3. Афанасьев В.О., Дворцова В.В., Бородин А.Е. Статический анализатор для языков с обработкой исключений // Труды Института системного программирования РАН. — 2022. — №34. — С. 7–28.
4. Gerasimov A.Yu., Kanakhin A.A., Prilov P.A., Zhukov A.A., Kaminskii E.A. Case study: Source code static analysis for performance issues detection // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. — 2022. — №34. — С. 7–20.
5. Ilyin D.V., Fokina N.Yu., Semenov V.A. Static dependency analysis for semantic data validation // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. — 2018. — №30. — С. 271–284.

© Евдошенко Олег Игоревич (evdoshenko@mirea.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF SPECIALIZED MICROCONTROLLER SOLUTIONS IN PRECISION FARMING SYSTEMS TO INCREASE THE SUSTAINABILITY AND PRODUCTIVITY OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEXES

**V. Egunov
A. Kuzmenko
A. Borisov**

Summary. The article analyzes the potential of introducing modern hardware and software based on microcontrollers into agrotechnical precision farming complexes to increase their efficiency and sustainable development. The research is based on the systematization of scientific literature and the analysis of existing practices for the implementation of automated systems in agriculture. The conceptual foundations of building monitoring and management systems in precision agriculture are considered, the economic and environmental aspects of their application are analyzed. A conceptual approach to the formation of a modular system adapted to the peculiarities of the Russian agro-industrial complex is proposed. The results of the study indicate the potential for optimizing resource consumption and increasing yields when implementing automated precision farming systems, however, taking into account the need for a thorough assessment of specific technical solutions for each agricultural enterprise.

Keywords: precision farming, agricultural automation, digitalization of agriculture, sustainable development, agroecological systems.

Егунув Виталий Алексеевич

кандидат технических наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет
vegunov@mail.ru

Кузьменко Александр Александрович

Волгоградский государственный технический университет
skvotcher@yandex.ru

Борисов Александр Сергеевич

Волгоградский государственный технический университет
alexanderbor0134@mail.ru

Аннотация. В статье выполнен анализ потенциала внедрения современных аппаратно-программных средств на основе микроконтроллеров в агротехнические комплексы точного земледелия для повышения их эффективности и устойчивого развития. Исследование опирается на систематизацию научной литературы и анализ существующих практик внедрения автоматизированных систем в сельском хозяйстве. Рассмотрены концептуальные основы построения систем мониторинга и управления в точном земледелии, проанализированы экономические и экологические аспекты их применения. Предложен концептуальный подход к формированию модульной системы, адаптированной к особенностям российского агропромышленного комплекса. Результаты исследования указывают на потенциал оптимизации ресурсопотребления и повышения урожайности при внедрении автоматизированных систем точного земледелия, однако с учетом необходимости тщательной оценки конкретных технических решений для каждого сельскохозяйственного предприятия.

Ключевые слова: точное земледелие, автоматизация сельского хозяйства, цифровизация АПК, устойчивое развитие, агроэкологические системы.

Введение

Устойчивое развитие агропромышленного комплекса (далее АПК) в условиях растущего населения, климатических изменений и ограниченности ресурсов является одним из ключевых вызовов 21 века [1]. Для решения этой комплексной задачи необходим переход к новой парадигме сельскохозяйственного производства, основанной на широком применении передовых технологий, автоматизации и цифровизации процессов [2].

Точное земледелие как концепция, предполагающая оптимизацию использования ресурсов на основе сбора и анализа детальных данных о состоянии агроэкосистемы, признается перспективным направлением для повышения продуктивности и экологичности аграрного сектора [3]. Технологии точного земледелия позволяют оптимизировать использование удобрений, средств защиты растений, водных ресурсов за счет их дифференцированного применения с учетом пространственной неоднородности полей и временной динамики развития растений.

В научной литературе достаточно подробно описаны принципы точного земледелия, методы сбора и обработки пространственных данных, подходы к дифференцированному внесению агрохимикатов [4, 5]. Однако вопросы практической реализации систем точного земледелия в конкретных условиях российского АПК, выбора оптимальных технических решений, оценки экономической эффективности внедрения остаются недостаточно изученными.

В последние годы развитие микроэлектроники и встраиваемых систем создало технологические предпосылки для формирования доступных решений в области автоматизации сельскохозяйственных процессов. Современные микроконтроллерные платформы, в частности линейка STM32, потенциально могут стать основой для создания модульных масштабируемых систем мониторинга и управления в точном земледелии. Однако необходим критический анализ их возможностей и ограничений применительно к специфическим задачам агротехнологий.

Данная статья направлена на проведение комплексного обзора научной литературы по вопросам автоматизации процессов в точном земледелии, анализ потенциала применения микроконтроллерных платформ в этой области и формирование концептуального видения архитектуры модульной системы, адаптированной к потребностям российского АПК.

Методы

Методологической основой исследования является системный подход, позволяющий рассматривать технологии точного земледелия в контексте взаимосвязи агрономических, экологических, экономических и технологических аспектов. В работе использованы методы теоретического анализа и синтеза, сравнительного анализа литературных источников, обобщения существующих практик.

Информационной базой исследования послужили научные публикации в области точного земледелия, аналитические обзоры рынка аграрных технологий, материалы научно-практических конференций, открытые данные о технических характеристиках микроконтроллерных платформ. Обзор литературы охватывает как фундаментальные работы по теории точного земледелия, так и прикладные исследования по внедрению конкретных технологических решений.

При анализе перспектив внедрения систем точного земледелия на базе микроконтроллеров применялся метод экспертной оценки потенциальных эффектов, основанный на обобщении результатов внедрения аналогичных технологий в различных регионах и хозяйствах.

Концептуальные основы точного земледелия. Обзор научной литературы показывает, что концепция точного земледелия основывается на трех ключевых компонентах: 1) системе сбора пространственных данных о состоянии агроэкосистемы; 2) методах анализа и интерпретации полученной информации; 3) технологиях дифференцированного воздействия на элементы агроэкосистемы [6].

Якушев В.П. и Якушев В.В. [9] подчеркивают, что эффективность точного земледелия определяется качеством информационного обеспечения и возможностью оперативной адаптации агротехнических решений к изменяющимся условиям. Авторы отмечают, что развитие сенсорных технологий и методов дистанционного зондирования создает новые возможности для оперативного мониторинга состояния посевов и почвы.

Баденко В.Л. с соавторами [8] указывает на перспективность применения имитационного моделирования для разработки систем поддержки принятия решений в точном земледелии. По мнению авторов, интеграция моделей развития сельскохозяйственных культур с данными мониторинга позволяет прогнозировать отклик агроэкосистемы на различные управляющие воздействия и оптимизировать агротехнические решения.

Анализ технических решений для систем точного земледелия. В последние годы наблюдается активное развитие технологий Интернета вещей (IoT) и встраиваемых систем, которые потенциально могут быть адаптированы для задач точного земледелия. Микроконтроллерные платформы, такие как Arduino, Raspberry Pi, STM32, становятся все более доступными и функциональными, что создает предпосылки для их применения в сельском хозяйстве.

Анализ литературы показывает, что при выборе аппаратной платформы для систем точного земледелия необходимо учитывать следующие ключевые требования:

- Надежность работы в сложных полевых условиях (широкий температурный диапазон, воздействие влаги, вибрации);
- Энергоэффективность для обеспечения автономной работы на удаленных участках;
- Коммуникационные возможности для передачи данных в распределенной инфраструктуре;
- Масштабируемость решений для адаптации к различным типам хозяйств;
- Доступность программно-аппаратных средств разработки и поддержки.

Микроконтроллеры семейства STM32 представляют собой линейку устройств с различными характеристиками, что позволяет выбирать оптимальные решения под конкретные задачи. Однако важно отметить, что не все

серии микроконтроллеров STM32 обладают одинаковой энергоэффективностью и функциональностью. При проектировании систем точного земледелия необходим тщательный выбор конкретных моделей микроконтроллеров с учетом требований конкретных задач.

Концептуальная модель системы точного земледелия. На основе анализа литературы предлагается концептуальный подход к построению модульной системы точного земледелия, адаптированной к потребностям российского АПК. Ключевыми особенностями данного подхода являются:

- Модульная архитектура, позволяющая гибко конфигурировать систему под потребности конкретного хозяйства;
- Многоуровневая организация, включающая полевые сенсорные узлы, локальные концентраторы данных и центральную систему обработки информации;
- Открытые протоколы обмена данными для обеспечения совместимости с различными устройствами;
- Адаптивные алгоритмы принятия решений, учитывающие специфику локальных почвенно-климатических условий.

В предлагаемой модели основные функциональные компоненты системы включают:

- Модули сбора данных о состоянии почвы, растений, метеорологических условиях;
- Средства позиционирования для пространственной привязки собираемых данных;
- Коммуникационные модули для передачи информации;
- Исполнительные механизмы для реализации дифференцированного внесения удобрений, средств защиты растений, регулирования полива.

Экономические и экологические аспекты внедрения систем точного земледелия. Зарубежные исследования подтверждают экономическую эффективность внедрения элементов точного земледелия. Schimmelpfennig и Ebel [10] на основе анализа опыта американских фермеров показали, что последовательное внедрение различных компонентов системы точного земледелия позволяет достичь существенной экономии ресурсов при сохранении высокой продуктивности.

Vora с соавторами [16] оценили потенциал энергосбережения при внедрении технологий точного земледелия и продемонстрировали, что дифференцированное

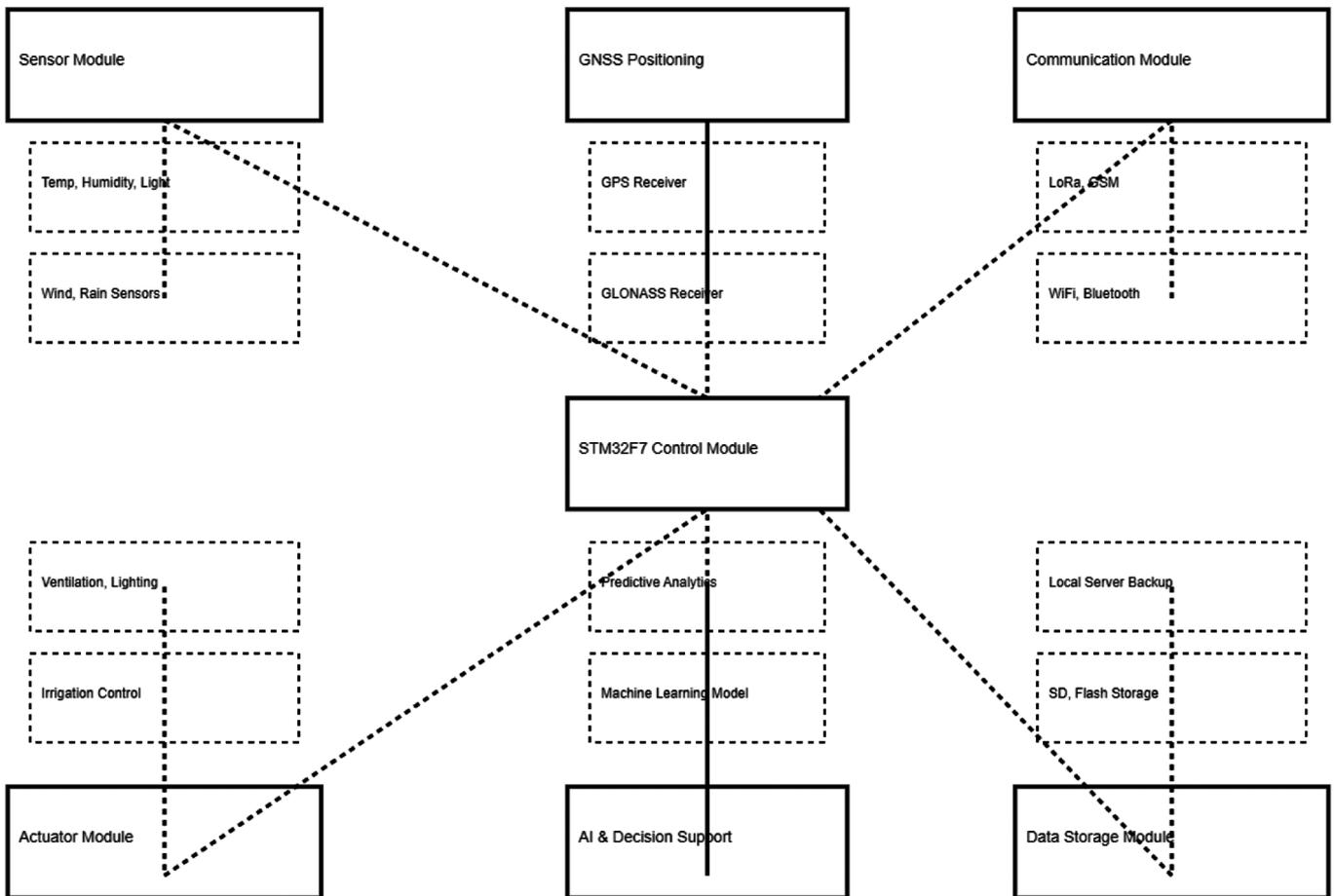


Рис. 1. Концептуальная схема модульной системы точного земледелия на базе микроконтроллеров STM32

внесение удобрений и средств защиты растений позволяет снизить энергоемкость производства на 10–15 %.

Анализ доступных исследований позволяет обобщить потенциальные эффекты от внедрения систем точного земледелия по основным направлениям (таблица № 1).

Таблица 1.
Потенциальные эффекты внедрения элементов точного земледелия

Направление эффектов	Механизмы реализации	Примерная оценка эффекта
Оптимизация использования удобрений	Дифференцированное внесение с учетом пространственной неоднородности почвы	Снижение объемов внесения на 10–20 % при сохранении урожайности
Оптимизация использования средств защиты растений	Локализованная обработка очагов распространения вредителей и болезней	Снижение объемов применения на 15–25 %
Экономия водных ресурсов	Прецизионный полив с учетом влажности почвы и потребностей растений	Повышение эффективности использования воды на 20–30 %
Рост урожайности	Оптимизация агротехнических операций с учетом локальных условий	Повышение на 10–15 % для большинства культур
Снижение экологического воздействия	Сокращение вымывания агрохимикатов в грунтовые воды	Снижение эмиссии загрязняющих веществ на 15–25 %

Источник: обобщено автором на основе [8, 9, 10]

Важно отметить, что приведенные оценки являются ориентировочными и могут существенно варьироваться в зависимости от типа культур, почвенно-климатических условий, технологического уровня хозяйства и других факторов. Для получения точных оценок экономической эффективности внедрения систем точного земледелия в конкретном хозяйстве необходимо проведение пилотных проектов и детальный анализ местных условий.

Барьеры и ограничения внедрения. Анализ литературы указывает на наличие ряда барьеров, препятствующих широкому внедрению систем точного земледелия в российском АПК:

- Высокие первоначальные инвестиции в оборудование и инфраструктуру;
- Дефицит квалифицированных кадров, обладающих компетенциями на стыке агрономии и информационных технологий;

- Слабое развитие инфраструктуры передачи данных в сельской местности;
- Отсутствие адаптированных к российским условиям готовых решений;
- Недостаточные меры государственной поддержки цифровой трансформации АПК.

Для преодоления указанных барьеров необходим комплексный подход, включающий развитие научно-исследовательской базы, подготовку кадров, совершенствование мер государственной поддержки, формирование экосистемы разработчиков технологических решений для АПК.

Заключение

Проведенный анализ научной литературы и существующих практик показал, что технологии точного земледелия имеют значительный потенциал для повышения эффективности и устойчивости агропромышленного комплекса. Современные микроконтроллерные платформы, в том числе семейство STM32, могут стать технологической основой для создания доступных модульных систем сбора данных и управления ресурсами в точном земледелии.

Предложенная концептуальная модель модульной системы точного земледелия ориентирована на гибкую адаптацию к потребностям различных типов хозяйств и учет специфики российского АПК. Открытая архитектура и унифицированные протоколы обмена данными позволяют интегрировать в систему компоненты от различных производителей, что снижает зависимость от конкретных поставщиков технологий. Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что успех внедрения систем точного земледелия определяется не только технологическими факторами, но и организационно-экономическими условиями, наличием квалифицированных кадров, доступностью инфраструктуры. Для масштабного освоения технологий точного земледелия российским АПК требуется формирование комплексной стратегии цифровой трансформации отрасли, включающей меры государственной поддержки, развитие научно-образовательной базы, стимулирование кооперации участников рынка. Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на эмпирическую верификацию эффектов внедрения комплексных систем точного земледелия в различных почвенно-климатических зонах России, разработку методик оценки экономической эффективности инвестиций в цифровизацию сельскохозяйственного производства, формирование адаптированных к российским условиям технологических стандартов и протоколов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. — СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. — 364 с.
2. Труфляк Е.В. Основные элементы системы точного земледелия. — Краснодар: КубГАУ, 2016. — 39 с.
3. Липкович Э.И. Автоматизация технологических процессов в сельском хозяйстве: учебное пособие. — Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2018. — 140 с.
4. McBratney A., Whelan B., Ancev T., Vouma J. Future Directions of Precision Agriculture // Precision Agriculture. — 2005. — Vol. 6(1). — p. 7–23.
5. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. — М.: КолосС, 2011. — 443 с.
6. Якушев В.П. Опыт разработки и применения систем точного земледелия // Продукционный процесс растений: теория и практика эффективного и ресурсосберегающего управления: труды Всероссийской конференции с международным участием, посвященные памяти академика РАСХН Ермакова Е.И. 2009. С. 7–10.
7. Pedersen S.M., Fountas S., Blackmore S. Agricultural Robots — Applications and Economic Perspectives // Service Robot Applications. — 2008. — p. 369–382.
8. Кравчук В.И., Любченко С.Е. Интегрированная система управляемого земледелия необходимое средство реализации современных технологий // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды международной научно-технической конференции. 2010. Т. 1. С. 103–105.
9. Якушев В.П., Якушев В.В. Информационное обеспечение точного земледелия. — СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. — 384 с.
10. Schimmelpfennig D., Ebel R. Sequential Adoption and Cost Savings from Precision Agriculture // Journal of Agricultural and Resource Economics. — 2016. — Vol. 41(1). — pp. 97–115.
11. Шпаар Д., Захаренко А.В., Якушев В.П. Точное сельское хозяйство. — СПб.; Пушкин, 2009. — 397 с.
12. Fountas S. et al. Farm management information systems: Current situation and future perspectives // Computers and Electronics in Agriculture. — 2015. — Vol. 115. — p. 40–50.
13. Zhang N., Wang M., Wang N. Precision agriculture — a worldwide overview // Computers and Electronics in Agriculture. — 2002. — Vol. 36. — p. 113–132.
14. Балабанов В.И., Железова С.В., Березовский Е.В., Беленков А.И., Егоров В.В. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие. — М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. — 148 с.
15. Schimmelpfennig D. Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture. Economic Research Report No. 217. U.S. Department of Agriculture. 2016. 46 p.
16. Bora G.C., Nowatzki J.F., Roberts D.C. Energy savings by adopting precision agriculture in rural USA // Energy, Sustainability and Society. 2012. Vol. 2. P. 22.

© Егунов Виталий Алексеевич (vegunov@mail.ru); Кузьменко Александр Александрович (skvotcher@yandex.ru);

Борисов Александр Сергеевич (alexanderbor0134@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СБОР МЕТРИК УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ SCRUM КОМАНДЫ

Зимнуров Марат Фаридович

Аспирант, Ивановский государственный
химико-технологический университет
zimtir@mail.ru

AUTOMATED COLLECTION OF SCRUM TEAM SATISFACTION METRICS

M. Zimnurov

Summary. The success of Agile at the team level has not only expanded its scope beyond software development, but has also facilitated its adoption in large-scale projects. Scrum metrics are a tool that can be used to make improvements to the product development process. When implementing the automated collection of satisfaction metrics for a Scrum team, it is advisable to use a mixed approach combining methods of collecting and analyzing qualitative and quantitative data. The data can be analyzed using descriptive and logical statistics to identify patterns and trends in the implementation of Agile development methodology and their impact on the productivity of the Scrum team. For automated collection of satisfaction metrics for the Scrum team, it is advisable to use tools for creating sprint reports. Thus, using the tools for analyzing the satisfaction metrics of the Scrum team to organize retrospective events will not only help improve work efficiency, but also ensure the implementation of the team's plans.

Keywords: Agile; Scrum teams; metrics; efficiency; satisfaction.

Аннотация. Успех Agile на командном уровне не только расширил сферу применения за пределы разработки программного обеспечения, но и способствовал его внедрению в крупномасштабных проектах. Scrum-метрики являются инструментом которые могут быть использованы для внесения улучшений в процесс разработки продукта. При реализации автоматизированного сбора метрик удовлетворенности Scrum команды целесообразно применять смешанный подход, сочетающий методы сбора и анализа качественных и количественных данных. Данные могут быть проанализированы с использованием описательной и логической статистики для выявления закономерностей и тенденций внедрения Agile методологии разработки и их влияния на производительность Scrum команды. Для автоматизированного сбора метрик удовлетворенности Scrum команды целесообразно использовать инструменты для создания отчетов о спринте. Таким образом, использование инструментов анализа метрик удовлетворенности Scrum команды для организации ретроспективных мероприятий не только поможет повысить эффективность работы, но и обеспечит успешную реализацию планов команды.

Ключевые слова: Agile; Scrum команды; метрики; эффективность; удовлетворенность.

Введение

Методология Agile произвела революцию в разработке программного обеспечения, развивая итеративные процессы, адаптивность и подход, ориентированный на заинтересованные стороны, что обеспечивает эффективное предоставление высококачественных программных продуктов. Хотя на начальном этапе внедрения Agile в основном применялась отдельными командами [1], однако успех Agile на командном уровне не только расширил сферу применения за пределы разработки программного обеспечения, но и способствовал его внедрению в крупномасштабных проектах [2].

Компании часто участвуют в многолетних проектах по разработке программного обеспечения, которые предполагают координацию работы многих Scrum команд на региональном или глобальном уровнях [3]. С появлением гибких методов и их совместного, итеративного и ориентированного на человека подхода к разработке программного обеспечения организации все чаще применяют принципы Agile в широком масштабе.

Удовлетворенность команды — это один из важнейших показателей для оценки эффективности команды, поскольку, при его оценке можно выявить насколько команда удовлетворена своей работой, а также он может стать сигналом о проблемах и конфликтах в команде. Удовлетворенность можно измерить с помощью опроса, который содержит вопросы, основанные на координации команды, интеграции процессов, окружающей среде и т.д.

Scrum метрики являются инструментом которые могут быть использованы для внесения улучшений в процесс разработки продукта. Организации, использующие Scrum метрики, отслеживают тенденции, проводят мониторинг для оценки влияния отдельных членов команды, руководства и компании в целом, и помогают в принятии решений по регулированию этого влияния.

Целью работы является исследование автоматизированного сбора метрик удовлетворенности Scrum команды.

Методы

Методология данного исследования основана на анализе количественных и качественных показателей

в Agile методологии для Scrum команд. Данные собраны из различных источников, включая научные статьи с целью повышения эффективности работы Scrum команд. Данная методология направлена на анализ Agile метрик, так как они играют ключевую роль в оценке результативности и эффективности работы команды.

Результаты

Удовлетворенность команды связана с ее эффективностью, которая определяется как совокупность удовлетворенности заинтересованных сторон результатами работы команды и удовлетворенности команды в целом, члены которой выполняют работы, необходимые для достижения результатов проекта. Хотя такие показатели более субъективны, чем показатели производительности, их легче сравнивать [4]. Прямое измерение удовлетворенности заинтересованных сторон было предложено в качестве сравнительного ключевого показателя для Agile команд [5].

В контексте Agile команд было обнаружено, что удовлетворенность работой положительно коррелирует с Agile методами и способностью добиваться эффекта от работы. В подходах к количественным исследованиям удовлетворенности команды используются численные измерения и анализ для объяснения исследуемых явлений и процессов [6]. Систематический сбор количественных данных позволяет проводить компиляцию эмпирических данных. Он является более объективным, чем отдельные выборки данных. Для сбора основных метрических данных, имеющих отношение к оценке удовлетворенности команды, могут быть использованы статистические процедуры.

Качественные исследования анализируют опыт, установки и взгляды членов команды, используя текстовые методы для понимания причин и процессов, стоящих за событиями, в отличие от количественных исследований. Обсуждения в фокус-группах, открытые опросы, полуструктурированные интервью и тематические исследования могут использоваться для сбора подробных качественных данных, которые не могут быть получены количественными методами.

Качественный подход позволяют руководителям проектов, членам команд и заказчикам получить подробную информацию об элементах, влияющих на эффективность традиционных методологий, основанных на планировании, в сравнении с Agile методологией в ИТ-проектах. Качественные показатели могут помочь понять нюансы проблем и достижений каждого подхода. Помимо общих количественных оценок эффективности, качественные исследования позволяют детально изучить, как реальная проектная среда и команды влияют на результаты, достигаемые с помощью различных

подходов к управлению. Субъективные предубеждения могут снизить надежность качественных результатов, несмотря на их способность выявлять более широкие контекстуальные перспективы. Стандартизация качественных исследований является сложной задачей из-за присущей таким методологиям гибкости. Количественные данные оказались более эффективными при сравнении поддающихся измерению изменений в результатах между традиционными системами и итеративными Agile системами разработки в ИТ-проектах. Качественные данные также ценны для понимания эффективности различных стратегий путем анализа непосредственного опыта членов команды на рабочем месте.

Вместо того, чтобы ограничивать исследования количественными или качественными методами, исследователи с использованием смешанных методов используют оба подхода, чтобы максимально выявить уникальные особенности команды [7]. Это может происходить при условии, когда качественные исследования дополняются количественными данными или наоборот, при этом, используя параллельные смешанные методы, можно получить полную картину работы команды, собирая как числовые, так и описательные данные одновременно.

Смешанные методы могут включать в себя использование количественных систематических метрик для выявления различий в производительности команд в ИТ-проектах. Добавление контекстуальной информации к измеренным различиям в производительности улучшает понимание при одновременном снижении затруднений, возникающих при использовании только одного метода.

Однако смешанные методы сбора метрик требуют навыков работы как в количественной, так и в качественной областях исследований, а также умения комбинировать различные наборы данных.

В работе [8], на основе 13 тематических исследований была определена эффективность работы Agile команды как совокупность удовлетворенности заинтересованных сторон и морального состояния команды. Моральное состояние команды концептуально схоже с удовлетворенностью работой, но опирается на позитивную психологию, подчеркивающую мотивационное качество выполнения работы в составе команды [9]. Таким образом, в результате проведенного анализа выявлены следующие факторы, определяющие эффективность работы команды:

1. Оперативность отражает способность Scrum команд быстро реагировать на возникающие потребности и требования заинтересованных сторон. К процессам более низкого порядка для данного фактора относятся частота выпуска, автоматизация выпуска и доработка проектов.

2. Заинтересованность сторон отражает, в какой степени Scrum команды понимают, что важно для их контрагентов. Процессы более низкого порядка для данного фактора включают в себя сотрудничество с заинтересованными сторонами, общие цели, качество анализа результатов спринтов.
3. Непрерывное совершенствование, который отражает степень вовлеченности Scrum команд в процесс развития и их уверенность в том, что оно эффективно. Данный фактор состоит из процессов более низкого порядка, таких как психологическая безопасность, забота о качестве разрабатываемого продукта, совместное обучение, использование показателей эффективности и командная среда.
4. Автономия команды отражает возможность Scrum команд самостоятельно управлять своей работой. Она включает в себя процессы самоуправления и кросс-функциональности команд.
5. Поддержка Scrum команды со стороны руководства определяет возможность эффективной и гибкой работы по созданию или расширению функционала разрабатываемого программного продукта.

Таким образом, эффективность работы Scrum команды может быть оценена с помощью сводной шкалы, разработанной [8]. Эта шкала оценивает два аспекта качества результатов работы команды.

В первой шкале используются вопросы для оценки удовлетворенности заинтересованных сторон результатами работы Scrum команды, включая «Заинтересованные стороны, как правило, довольны программным обеспечением, которое разрабатывает команда» и «Заинтересованные стороны хвалят команду за ту ценность, которую она приносит».

Вторая шкала оценивает удовлетворенность членов команды своей командой и ее результатами с помощью таких вопросов как «Я горжусь работой, которую я выполняю для команды» и «Я нахожу работу, которую я выполняю для команды, осмысленной и ведущей к общей цели».

Командная эффективность представляет собой среднее значение, основанное на среднем значении баллов по обеим шкалам для каждого члена Scrum команды.

Кроме того, необходимо измерение пяти основных факторов, описанных выше, так как они позволяют прогнозировать эффективность Scrum команд на основе шкал.

Оперативность реагирования распределяется на три под-шкалы: частоту выпуска, автоматизацию выпуска,

доработку проектов. Озабоченность заинтересованных сторон представлена четырьмя под-шкалами: сотрудничество с заинтересованными сторонами, общие цели, качество анализа результатов спринтов и ориентация на ценность. Постоянное совершенствование оценивается по пяти под-шкалам: психологическая безопасность, забота о качестве разрабатываемого продукта, совместное обучение, использование показателей эффективности и командная среда. Автономия команды измеряется с помощью двух под-шкал: самоуправление команды и ее кросс-функциональность. Поддержка Scrum команды со стороны руководства определяется под-шкалой возможности эффективной работы по созданию программного продукта [10].

Таким образом, удовлетворенность Scrum команды может быть оценена с помощью многомерной конструкции с использованием предложенного метода шкалирования. Под-шкалы могут измерять удовлетворенность Scrum команды на основе ответов на следующие вопросы: «Я удовлетворен ценностью, которую приносит команда», «Я доволен ценностью, которую эта команда приносит в каждом спринте», «То, что делает команда, отличается высоким качеством» и «Когда команда выпускает новую версию продукта, в ней, как правило, нет серьезных ошибок», «Когда у меня появляется идея или предложение, члены команды готовы выслушать меня», «Я часто встречаюсь или взаимодействую с членами команды», «Эта команда часто выпускает новые версии продукта» и «Я удовлетворен тем, как часто выходят новые версии».

Обсуждение результатов

Таким образом, при реализации автоматизированного сбора метрик удовлетворенности Scrum команды целесообразно применять смешанный подход, сочетающий методы сбора и анализа качественных и количественных данных [11]. Сбор включает в себя три основных этапа:

1. Опрос членов команды с целью сбора количественных данных об их опыте использования Agile методологий и ее влияние на производительность команды. Опрос включает вопросы о конкретных используемых методах разработки, размере и составе команды, сложности проекта, а также предполагаемых преимуществах и проблемах внедрения Agile методологии.
2. Интервью с целевой выборкой членов Scrum команды для сбора качественных данных об их опыте использования Agile методологии. В ходе интервью участники опрашиваются о том, как Agile практики влияют на динамику Scrum команды, коммуникацию и общую производительность команды, а также о факторах, которые способствуют успеху или неудаче внедрения Agile в их проектах.

- Тематические исследования для более глубокого представления о внедрении Agile методологий в проектах. Тематические исследования включают наблюдение за участниками, анализ документов и интервью с ключевыми заинтересованными сторонами, для выявления, как внедрены, адаптированы и поддерживаются методы Agile с течением времени в Scrum командах.

Данные опроса могут быть проанализированы с использованием описательной и логической статистики для выявления закономерностей и тенденций внедрения Agile методологии разработки и их влияния на производительность Scrum команды [12]. Данные интервью могут быть расшифрованы и проанализированы с использованием тематического анализа для выявления общих тем и закономерностей в поведении участников Scrum команды с учетом опыта работы с Agile методологией разработки продуктов. Это позволит оценить динамику работы команды, коммуникацию и общую производительность Scrum команды [13].

Заключение

Таким образом, Scrum метрики являются инструментом которые могут быть использованы для внесения улучшений в процесс разработки продукта. Организации, использующие Scrum метрики, отслеживают тенденции, проводят мониторинг для оценки влияния отдельных членов команды, руководства и компании

в целом, и помогают в принятии решений по регулированию этого влияния.

Удовлетворенность команды связана с ее эффективностью, которая определяется как совокупность удовлетворенности заинтересованных сторон результатами работы команды и удовлетворенности команды в целом, члены которой выполняют работы, необходимые для достижения результатов проекта.

В контексте Agile команд было обнаружено, что удовлетворенность работой положительно коррелирует с Agile методами и способностью добиваться эффекта от работы. В подходах к количественным исследованиям удовлетворенности команды используются численные измерения и анализ для объяснения исследуемых явлений и процессов. Систематический сбор количественных данных позволяет проводить компиляцию эмпирических данных. Он является более объективным, чем отдельные выборки данных.

Таким образом, удовлетворенность Scrum команды может быть оценена с помощью многомерной конструкции с использованием предложенного метода шкалирования. Данные опроса могут быть проанализированы с использованием описательной и логической статистики для выявления закономерностей и тенденций внедрения Agile методологии разработки и их влияния на производительность Scrum команды

ЛИТЕРАТУРА

- Verwijns C. Do Agile scaling approaches make a difference? an empirical comparison of team effectiveness across popular scaling approaches / C. Verwijns, D. Russo // Empirical Software Engineering. — 2024. — № 3. — pp. 29–75.
- Dingsoyr T. Exploring software development at the very large-scale: a revelatory case study and research agenda for agile method adaptation / T. Dingsoyr // Empir Softw Eng. — 2018. — № 1. — pp. 490–520.
- Ebert C. Scaling agile / C. Ebert // IEEE Softw. — 2017. — № 6. — pp. 98–103.
- Зимнуров М.Ф. Системный анализ и оптимизация количественных показателей эффективности в технологических проектах на основе гибких методологий / М.Ф. Зимнуров, И.А. Астраханцева, П.Н. Грименицкий // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. — 2023. — № 3. — С. 61–68.
- Kupiainen E. Why are industrial agile teams using metrics and how do they use them? / E. Kupiainen, M.V. Mäntylä // International workshop on emerging trends in software metrics. — 2014. — №3. — pp. 23–29.
- Клинков Е.В. Выбор метрик для команд программистов, работающих в условиях высокой неопределённости / Е.В. Клинков // Наука Красноярья. — 2023. — Т 12, №3. — С. 74–91.
- Yilmaz K. Comparison of quantitative and qualitative research traditions: Epistemological, theoretical, and methodological differences / K. Yilmaz // European Journal of Education. — 2013. — № 2. — pp. 311–325.
- Verwijns C. A theory of scrum team effectiveness / C. Verwijns, D. Russo // ACM Trans Softw Eng Methodol. — 2023. — № 3. — pp. 1–51.
- Зимнуров М.Ф. Разработка интерфейса по метрике загруженности сотрудников / М.Ф. Зимнуров // Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством» [Ивэкофин]. — 2024. — № 4. — С. 82–87.
- Kosti M. Challenges of agile practices implementation in the medical device software development methodologies / M. Kosti // Eur Proj Manag J. — 2017. — № 2. — pp. 36–44.
- Kropp M. Agile practices, collaboration and experience: An empirical study about the effect of experience in agile software development / M. Kropp, A. Meier // Product-focused software process improvement. — 2016. — № 7. — pp. 416–431.
- Долженко Р.А. Сущность и оценка эффективности использования оптимизационных технологий «Лин» и «Шесть сигм» / Р.А. Долженко // Вестник Омского университета Серия: Экономика. — 2014. — № 1. — С. 25–33.
- Богатырева С.В. Экономическая эффективность как основа формирования управленческих решений / С.В. Богатырева, А.Б. Титов, М.Ю. Куприянова // Экономика и менеджмент систем управления. — 2016. — № 2. — С. 116–122.

© Зимнуров Марат Фаридович (zimtir@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОТЕРИ ПАКЕТОВ НА СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТИ

ANALYSIS OF THE IMPACT OF PACKET LOSS ON DATA TRANSMISSION SPEED IN THE NETWORK

**K. Kamaletdinova
M. Myltseva
D. Yakupov**

Summary. This paper is devoted to the study of the effect of packet loss on the effectiveness of the TCP and UDP network protocols. During the experiment, a Python script was used to simulate data transmission over these protocols, taking into account packet loss, as well as network settings that allow simulating different loss levels. Based on the collected data, latency, bandwidth, and response time were measured when the percentage of packet loss changed. The results of the experiment showed that TCP is more sensitive to packet loss, which leads to increased latency and reduced throughput. In contrast, UDP exhibits lower latency, but is less reliable at high levels of data loss. The work highlights the importance of taking packet loss into account when designing network applications and infrastructure, and provides recommendations on choosing protocols for various types of network services.

Keywords: network protocols, TCP, UDP, packet loss, latency, bandwidth, response time, Python script, loss modeling, data transfer efficiency.

Камалетдинова Камиля Рамилевна

ФГБОУВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»
kamaletdinova.kamilya@yandex.ru

Мыльцева Мария Николаевна

ФГБОУВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»
kaktymeya106@gmail.com

Якупов Денис Олегович

Старший преподаватель,
ФГБОУВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»
d.yakupov@psuti.ru

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию влияния потерь пакетов на эффективность сетевых протоколов TCP и UDP. В процессе эксперимента использовался Python-скрипт для имитации передачи данных через эти протоколы с учетом потерь пакетов, а также настроек сети, позволяющих моделировать различные уровни потерь. На основе собранных данных были проведены измерения задержки, пропускной способности и времени отклика при изменении процента потерь пакетов. Результаты эксперимента показали, что TCP более чувствителен к потере пакетов, что приводит к увеличению задержки и снижению пропускной способности. В отличие от этого, UDP демонстрирует меньшую задержку, но менее надежен при высоких уровнях потерь данных. Работа подчеркивает важность учета потерь пакетов при проектировании сетевых приложений и инфраструктуры, а также дает рекомендации по выбору протоколов для различных типов сетевых сервисов.

Ключевые слова: сетевые протоколы, TCP, UDP, потеря пакетов, задержка, пропускная способность, время отклика, Python-скрипт, моделирование потерь, эффективность передачи данных.

Введение

Сетевые технологии стали неотъемлемой частью нашей жизни, обеспечивая обмен данными между миллиардами устройств. Неизбежными остаются проблемы потерь пакетов, которые происходят, когда данные не достигают получателя из-за перегрузки сети, ошибок на канале или сбоев в маршрутизации. Потери пакетов влияют на качество сетевых соединений и производительность приложений, особенно при передаче мультимедийных данных, видеоконференциях и онлайн-играх. Объектом исследования являются протоколы TCP и UDP, которые отличаются по способу обработки потерь пакетов. TCP (Transmission Control Protocol) — это протокол с установлением соединения, гарантирующий доставку данных через механизмы подтверждения получения, повторную передачу и управление перегрузками.

Эти механизмы повышают надежность, но увеличивают задержку при потере пакетов. Алгоритмы управления перегрузкой, такие как медленный старт и экспоненциальное отступление, снижают скорость передачи данных при обнаружении потерь. UDP (User Datagram Protocol) — более простой протокол без гарантии доставки, не требующий установления соединения и не использующий повторную передачу. UDP обладает меньшими накладными расходами и обеспечивает более высокую скорость, но при потерях пакетов данные теряются безвозвратно.

Исследование направлено на понимание влияния потерь пакетов на скорость передачи данных через эти протоколы. Будет проведен ряд экспериментов с Python-скриптами для измерения скорости при разных уровнях потерь. На основе полученных данных будут построены

графики зависимости скорости от процента потерь. Результаты помогут разработчикам выбрать подходящий протокол в зависимости от условий сети и требований приложения.

Задачи исследования: исследование влияния потерь пакетов на производительность протоколов TCP и UDP; разработка Python-скрипта для измерения скорости передачи данных; создание искусственных потерь пакетов с помощью утилиты `tc qdisc`; построение графиков зависимости скорости от процента потерь для TCP и UDP. Актуальность заключается в важности понимания влияния потерь пакетов на различные протоколы для проектирования сетевых приложений.

Методология

Для достижения цели исследования применяется экспериментальный подход с использованием Python-скриптов и утилиты `tc qdisc` для создания искусственных потерь пакетов. Эксперимент проводится в Linux, предоставляющей средства для управления сетью через команду `tc` и инструменты для контроля качества обслуживания. Выбор Linux обусловлен широкими возможностями настройки сетевого стека и распространенностью в серверных средах. Основным инструментом является Python, с помощью которого создается скрипт для измерения скорости передачи данных, задержек и времени отклика. Используются стандартные библиотеки Python, такие как `time` и `socket`. Для создания искусственных потерь применяется утилита `tc qdisc`, настраивающая уровень потерь пакетов в сети путем изменения параметров очереди. Моделируются различные уровни потерь от 0 % до 20 %. Выбор такого диапазона обусловлен тем, что потери более 20 % обычно свидетельствуют о серьезных проблемах в инфраструктуре.

Экспериментальная среда настроена в локальной сети для исключения влияния внешних факторов. На каждом этапе эксперимента изменяются параметры потерь, и для каждого уровня проводятся тесты на передачу данных через TCP и UDP. Для статистической значимости каждый тест повторяется несколько раз.

Измеряются такие параметры, как пропускная способность, задержка и время отклика. Пропускная способность — это скорость передачи данных (байт за единицу времени). Задержка — время прохождения пакета от отправителя к получателю. Время отклика — время от отправки пакета до получения подтверждения. Данные обрабатываются и визуализируются с помощью библиотек `Matplotlib` и `Seaborn`.

Ожидается, что с увеличением уровня потерь пакетов производительность сети будет снижаться, особенно для TCP, который использует механизм повторной

Таблица 1.

Измеряемые параметры для оценки производительности протоколов

Параметр	Описание	Единица измерения
Пропускная способность	Количество успешно переданных данных за единицу времени	Мбит/с
Задержка	Среднее время, необходимое для доставки одного пакета от отправителя к получателю	мс
Время отклика	Время между отправкой запроса и получением ответа	мс
Коэффициент потери пакетов	Отношение количества потерянных пакетов к общему количеству отправленных пакетов	%
Джиттер	Вариация задержки между последовательно принятыми пакетами	мс

передачи. UDP продемонстрирует меньшую задержку, но скорость передачи данных будет зависеть от потерь пакетов.

Серверная часть

Для проведения эксперимента разработана серверная часть, принимающая и обрабатывающая данные от клиентов. Сервер реализован на Python с использованием библиотеки `socket` для работы с протоколами TCP и UDP. Цель серверной части — прием пакетов данных и анализ времени их получения, а также запись статистики о потерях и задержках. В серверной части создается сокет, который слушает входящие соединения или пакеты. Для TCP используется протокол `SOCK_STREAM`, требующий установления соединения. Для UDP используется `SOCK_DGRAM`, позволяющий передавать данные без постоянного соединения. Это фундаментальное различие влияет на поведение соединения при потере пакетов. Для TCP сервер создает сокет, связывает его с IP-адресом и портом, и начинает прослушивание порта. При подключении клиента сервер принимает соединение и создает новый сокет для обмена данными. После установления соединения сервер принимает данные и отправляет ответы методами `recv()` и `send()`.

```
import socket

def start_tcp_server():
    server_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    server_socket.bind(('localhost', 12345))
    server_socket.listen(1)
    print("TCP Server is listening on port 12345...")
```

```
while True:
    client_socket, client_address = server_socket.accept()
    print(f»Connection established with {client_address}»)
    data = client_socket.recv(1024)
    print(f»Received data: {data.decode()}»)
    client_socket.close()

def start_udp_server():
    server_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
    server_socket.bind(('localhost', 12345))
    print(«UDP Server is listening on port 12345...»)

    while True:
        data, client_address = server_socket.recvfrom(1024)
        print(f»Received data from {client_address}: {data.decode()}»)

```

Когда сервер получает данные, они обрабатываются для оценки потерь пакетов и задержек. Основное внимание уделяется анализу времени получения данных. Для каждого пакета сервер записывает время получения, что позволяет вычислить задержку. Это особенно важно при высоких уровнях потерь, когда задержки могут существенно возрасти.

Для каждого теста сервер записывает статистику о времени получения пакетов. Эти данные используются для вычисления пропускной способности и задержки. Потери пакетов влияют на TCP, поскольку он инициирует повторную отправку, увеличивая нагрузку на сеть. UDP не восстанавливает потерянные данные, что делает его более устойчивым к задержкам, но менее надежным.

Таблица 2.

Результаты измерения задержки (мс) для различных уровней потерь пакетов

Протокол	0 % потерь	1 % потерь	5 % потерь	10 % потерь	20 % потерь
TCP	12.5	45.2	118.7	203.5	312.4
UDP	10.2	19.8	34.6	48.3	65.1

Сервер также измеряет джиттер — вариацию задержки, важный показатель стабильности соединения для приложений реального времени. Высокий джиттер может негативно сказаться на качестве воспроизведения аудио или видео.

Клиентская часть

Клиентская часть активно отправляет данные и играет ключевую роль в эксперименте. Клиент с помощью сокетов отправляет пакеты на сервер и измеряет время их отправки и получения для вычисления задержки и пропускной способности. Клиент разработан на Python с использованием тех же библиотек, что и сервер.

Для взаимодействия с сервером клиент использует сокет. Для TCP клиент устанавливает соединение перед отправкой данных, а для UDP отправляет пакеты без постоянного соединения. Сокеты создаются с использованием протоколов SOCK_STREAM (TCP) и SOCK_DGRAM (UDP).

```
import socket
import time

def start_tcp_client():
    client_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    client_socket.connect(('localhost', 12345))

    message = «Test packet»
    start_time = time.time()
    client_socket.send(message.encode())
    data = client_socket.recv(1024)
    end_time = time.time()

    print(f»Received: {data.decode()}»)
    print(f»Time taken: {end_time — start_time} seconds»)
    client_socket.close()

def start_udp_client():
    client_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)

    message = «Test packet»
    start_time = time.time()
    client_socket.sendto(message.encode(), ('localhost', 12345))
    data, server_address = client_socket.recvfrom(1024)
    end_time = time.time()

    print(f»Received: {data.decode()} from {server_address}»)
    print(f»Time taken: {end_time — start_time} seconds»)
    client_socket.close()

```

Для точной оценки времени передачи данных клиент записывает время до и после отправки каждого пакета. Чем выше уровень потерь, тем дольше задержка, особенно для TCP. Для обеспечения точности клиент может использовать `time.perf_counter()` вместо `time.time()`. При моделировании потерь пакетов используется утилита `tc qdisc`. Например, команда `«sudo tc qdisc add dev eth0 root netem loss 10 %»` настраивает потерю 10 % пакетов. Утилита `netem` позволяет эмулировать различные свойства сети, такие как потери, задержки и дублирование пакетов. Клиент отправляет серию пакетов разного размера для оценки зависимости производительности от размера пакета при различных уровнях потерь. Для каждого размера пакета и уровня потерь проводится несколько тестов для статистической значимости результатов.

Таблица 3.

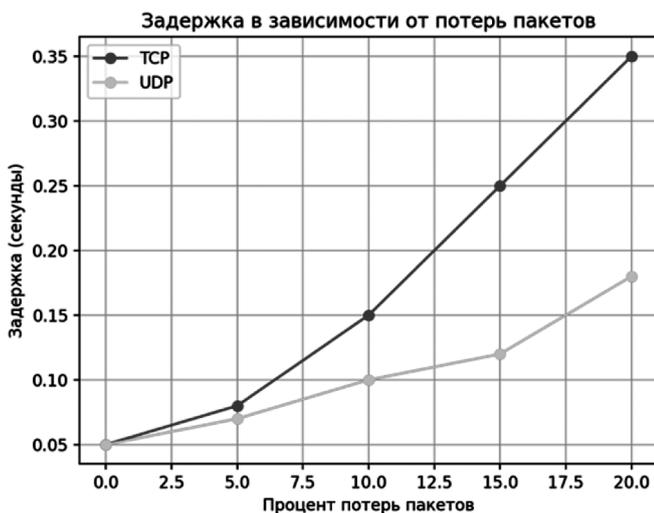
Результаты измерения пропускной способности (Мбит/с) для различных уровней потерь пакетов

Протокол	0 % потерь	1 % потерь	5 % потерь	10 % потерь	20 % потерь
TCP	95.3	72.5	43.8	28.6	14.2
UDP	98.1	96.3	92.8	87.4	77.9

Анализ результатов

После проведения эксперимента, где сервер и клиент обменивались пакетами данных через TCP и UDP с искусственно настроенной потерей пакетов, был получен ряд статистических данных. В данной главе проводится анализ результатов для выявления зависимостей между потерями пакетов и временем отклика, а также пропускной способностью для каждого протокола.

Задержка является важным параметром для оценки качества сети. Результаты показали, что для TCP с увеличением уровня потерь пакетов задержка значительно возрастала. Это объясняется механизмом повторной передачи и алгоритмами управления перегрузкой. На графике ниже показано, как увеличивается задержка с ростом потерь пакетов для обоих протоколов.

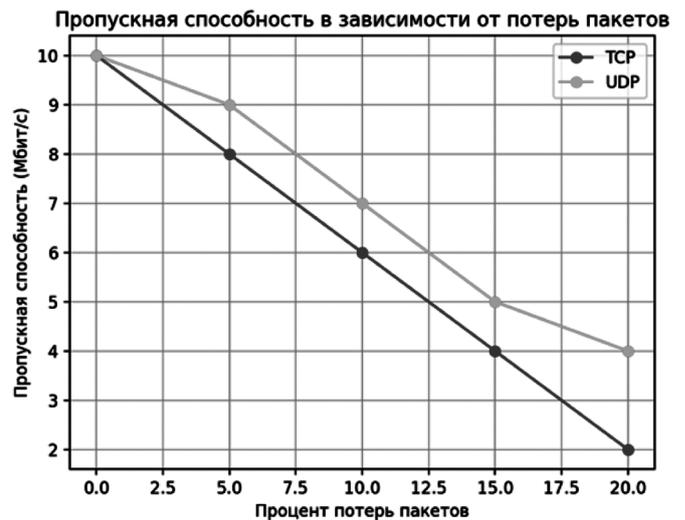


Результаты: Как видно из графика, TCP испытывает значительно большие задержки при росте потерь пакетов по сравнению с UDP. Это связано с тем, что TCP использует механизмы подтверждения и повторной отправки пакетов, что увеличивает время передачи данных при потере пакетов. В то время как UDP, не имея такого механизма, теряет пакеты, но быстрее передает оставшиеся данные.

При анализе данных стало очевидно, что TCP страдает от потерь пакетов гораздо сильнее, чем UDP. Для TCP пропускная способность уменьшается с ростом потерь

пакетов, так как повторные отправки пакетов занимают время и увеличивают общий объем переданных данных. В случае с UDP пропускная способность также падает с увеличением потерь, но в меньшей степени, поскольку UDP не тратит время на повторную отправку данных.

На графике ниже показано, как пропускная способность изменяется с увеличением процента потерь пакетов.



Результаты: Из графика видно, что пропускная способность TCP значительно снижается с увеличением потерь пакетов, что свидетельствует о высокой чувствительности этого протокола к потере данных. В отличие от этого, UDP демонстрирует более стабильную пропускную способность, хотя она также падает с ростом потерь, но не так резко.

Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод, что TCP имеет преимущество в стабильных сетях с минимальными потерями пакетов. Однако при повышении потерь его производительность ухудшается из-за необходимости повторной передачи данных. UDP, несмотря на отсутствие механизма повторной отправки, показал лучшую производительность в условиях потерь, но это приводит к потере данных.

Из эксперимента можно сделать несколько выводов. Во-первых, потери пакетов существенно влияют на производительность обоих протоколов. Во-вторых, для приложений, где высокая надежность имеет первостепенное значение, лучше использовать TCP. Для приложений, требующих высокой скорости с меньшими требованиями к надежности, UDP будет более подходящим выбором. Результаты могут быть полезны разработчикам сетевых приложений при выборе протокола в зависимости от условий работы и требований приложения.

Таблица 4.
Относительная производительность протоколов
при различных уровнях потерь пакетов
(% от максимальной)

Протокол	Метрика	0 % потерь	1 % потерь	5 % потерь	10 % потерь	20 % потерь
TCP	Пропускная способность	100 %	76 %	46 %	30 %	15 %
TCP	Задержка	100 %	362 %	950 %	1628 %	2499 %
UDP	Пропускная способность	100 %	98 %	95 %	89 %	79 %
UDP	Задержка	100 %	194 %	339 %	473 %	638 %

Заключение

Исследование показало значительное влияние потерь пакетов на работу протоколов TCP и UDP. В ходе эксперимента использовался Python-скрипт для отправки данных и имитации потерь пакетов. Были проанализированы изменения задержки, пропускной способности и времени отклика в зависимости от уровня потерь. Результаты подтвердили теоретические предположения о поведении протоколов и предоставили количественные оценки их производительности. Для TCP повышение потерь пакетов приводит к увеличению задержки из-за механизма повторной отправки, что замедляет переда-

чу данных. UDP сохраняет стабильную задержку, однако потеря пакетов влияет на надежность передачи данных. Эти особенности делают TCP подходящим для приложений, требующих надежной доставки, а UDP — для приложений, где важна низкая задержка. Пропускная способность TCP существенно снижается при увеличении потерь пакетов из-за необходимости повторной передачи. Пропускная способность UDP остается более стабильной, но потери пакетов ведут к потере данных. Выбор между TCP и UDP должен основываться на компромиссе между надежностью и скоростью, с учетом требований приложения и условий сети. Выбор протокола зависит от характеристик приложения и условий сети. Для приложений, где важна целостность данных, предпочтительнее TCP. Для приложений, где важна высокая скорость и допустимы потери, например в потоковых сервисах, предпочтительнее UDP. В современных приложениях часто используются оба протокола для разных типов данных.

Результаты исследования подчеркивают важность учета потерь пакетов при проектировании сетевых приложений и инфраструктуры. Эти данные помогают выбрать наиболее подходящий протокол для конкретных условий. Понимание влияния потерь пакетов на протоколы позволяет разработчикам создавать более эффективные и адаптивные приложения, способные поддерживать высокую производительность даже в неблагоприятных условиях сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таненбаум А.С., & Ветеролл, Д.Дж. Компьютерные сети (5-е изд.). Питер. — Режим доступа: [URL: <https://edu.library.moscow.ru/bb17194>]
2. Курiose Дж.Ф., & Росс К.У. Компьютерные сети: принципы, технологии и протоколы (7-е изд.). Питер. — Режим доступа: [URL: <https://books.google.ru/books?id=gECtAgAAQBAJ>]
3. Постель Дж. Транспортный протокол управления (RFC 793). — Режим доступа: [URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc793>]
4. Стюарт Р. TCP/IP: Иллюстрации, том 1: Протоколы (2-е изд.). Addison-Wesley Professional. — Режим доступа: [URL: <https://www.pearson.com/store/p/tcp-ip-illustrated-volume-1-the-protocols/P100000156607>]
5. Кешав С. Математика коммуникационных сетей. Cambridge University Press. — Режим доступа: [URL: <https://www.cambridge.org/core/books/mathematics-of-communication-networks/AB32AFC04A5C87C2885AB4E88B35F9A>]
6. Форузан Б.А. Коммуникации данных и сети (5-е изд.). McGraw-Hill. — Режим доступа: [URL: <https://www.mheducation.com/highered/product/data-communications-networking-forouzan/M9780073376225.html>]
7. RFC 5681. Управление перегрузками в TCP. — Режим доступа: [URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc5681>]
8. Хеди Л., & Халил С. (2016). «Оценка производительности TCP и UDP при различных уровнях потерь пакетов». Международный журнал управления сетями, 26(3), 220–233. — Режим доступа: [URL: <https://doi.org/10.1002/nem.2006>]
9. «Управление трафиком в Linux» (2018). Linux Foundation. — Режим доступа: [URL: <https://www.kernel.org/doc/Documentation/networking/tc.txt>]
10. Комер Д.Э. Взаимодействие с TCP/IP: принципы, протоколы и архитектура (6-е изд.). Питер. — Режим доступа: [URL: <https://www.ozon.ru/context/detail/id/30189593/>]
11. Дромс Р. Протокол динамической конфигурации хоста (DHCP). RFC 2131. — Режим доступа: [URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2131>]
12. Стюарт Р. Производительность TCP и выбор протоколов для приложений реального времени (2008). — Режим доступа: [URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4533907>]
13. «Понимание UDP и TCP в сетевых технологиях». NetworkWorld. — Режим доступа: [URL: <https://www.networkworld.com/article/2883597/understanding-tcp-and-udp.html>]
14. «Введение в сетевые технологии: TCP/IP и модель OSI». Cisco Networking Academy. — Режим доступа: [URL: <https://www.netacad.com/courses/packet-tracer>]

© Камалетдинова Камиля Рамиловна (kamaletdinova.kamilya@yandex.ru); Мильцева Мария Николаевна (kaktysmeya106@gmail.com);

Якупов Денис Олегович (d.yakupov@psuti.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИКРОСЕРВИСОВ ЧЕРЕЗ API: СТРАТЕГИИ ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ POSTMAN И SWAGGER

OPTIMIZING MICROSERVICES INTERACTION VIA API: STRATEGIES FOR DOCUMENTATION AND MONITORING USING POSTMAN AND SWAGGER

**N. Kuzmin
A. Zavjalov**

Summary. The article examines the problem of optimizing the interaction of microservices via APIs, which is a relevant direction in the development of distributed systems. The introduction substantiates the need to increase the efficiency of data exchange between system components, highlighting the importance of API documentation and monitoring to ensure flexibility, scalability, and reliability. In particular, attention is paid to strategies for using Postman and Swagger tools, which contribute to standardizing and automating the testing and documentation processes. The methodological section of the study describes an approach based on a comprehensive analysis of existing practices for integrating microservices, as well as the application of experimental scenarios using Postman for conducting functional tests and monitoring API performance. The Swagger tool is used to generate interactive documentation, which simplifies API reading and maintenance. A detailed description is provided on the development of test sets and data visualization methods, ensuring an objective comparison of the effectiveness of various optimization strategies.

As a result of the experiment, the advantages of integrating Postman and Swagger tools for improving the quality of microservices interaction were identified. The experimental section demonstrates that the application of a flexible testing system combined with automated documentation reduces the time spent debugging interfaces and minimizes the likelihood of data exchange errors. The results show an improvement in key performance indicators, a reduction in response time to failures, and increased transparency of the development processes.

The discussion of the research results emphasizes the possibility of using a combined approach to enhance the level of interaction between individual services in the rapidly changing architecture of applications. The article underlines that optimization through efficient documentation and constant monitoring is capable of ensuring the resilience and reliability of modern distributed systems, as well as stimulating the development of new tools for automating integration processes. Thus, the proposed strategies can serve as a basis for further research in the field of perfecting the architecture of corporate applications and increasing the flexibility of their integration interactions.

Keywords: optimization, microservices, API, documentation, monitoring.

Кузьмин Николай Никитович

МИРЭА — Российский технологический университет
16nkuz@gmail.com

Завьялов Антон Владимирович

Кандидат технических наук,
МИРЭА — Российский технологический университет
a.zavjalov@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается проблема оптимизации взаимодействия микросервисов посредством API, что является актуальным направлением в разработке распределённых систем. Введение обосновывает необходимость повышения эффективности обмена данными между компонентами системы, подчеркивая значимость документирования и мониторинга API для обеспечения гибкости, масштабируемости и надёжности. В частности, внимание уделяется стратегиям использования инструментов Postman и Swagger, способствующих стандартизации и автоматизации процессов тестирования и документации. Методическая часть исследования описывает подход, основанный на комплексном анализе существующих практик интеграции микросервисов, а также на применении экспериментальных сценариев с использованием Postman для проведения функциональных тестов и мониторинга производительности API. Инструмент Swagger применяется для генерации интерактивной документации, что позволяет упростить чтение и поддержку API. Приводится подробное описание разработки тестовых наборов и методов визуализации данных, что обеспечивает объективное сравнение эффективности различных стратегий оптимизации. В результате проведённого эксперимента выявлены преимущества интеграции инструментов Postman и Swagger для улучшения качества взаимодействия микросервисов. Экспериментальная часть демонстрирует, что применение гибкой системы тестирования в сочетании с автоматизированным документированием снижает время на отладку интерфейсов и минимизирует вероятность ошибок обмена данными. Результаты показывают улучшение контрольных показателей над производительностью системы, снижение времени реакции на сбои и повышение прозрачности процессов разработки. Обсуждение результатов исследования акцентирует внимание на возможности использования комбинированного подхода для повышения уровня взаимодействия между отдельными сервисами в условиях быстро меняющейся архитектуры приложений.

Ключевые слова: оптимизация, микросервисы, API, документирование, мониторинг.

Введение

Микросервисная архитектура заняла прочные позиции в современной разработке ПО, позволяя распределять функциональные элементы приложения на автономные сервисы и повышая гибкость систем. Микросервисы взаимодействуют через API, предоставляющие четкие контракты для обмена данными между компонентами. Разработчики фокусируются на узких задачах, а общий функционал объединяется точками коммуникации, обеспечивающими согласованность и строгое разделение ответственности. Для документирования и мониторинга API Postman и Swagger стали распространенными решениями благодаря возможностям автоматизации проверок и созданию человекочитаемых описаний [7, с. 93].

При проектировании микросервисной архитектуры важно оценивать эффективность API для связи сервисов. Слишком детализированные контракты могут снизить производительность, а слишком мелкие создадут избыток сетевых взаимодействий. Необходимо определить оптимальные форматы обмена и протоколы: REST, gRPC, GraphQL, влияющие на удобство применения инструментов документирования и проверки. Для REST традиционно используется JSON, Swagger легко встраивается в пайплайн для генерации интерфейса тестирования, а Postman позволяет настраивать тестовые сценарии [1, с. 37]. Универсального рецепта для микросервисных систем не существует, но есть закономерности для выстраивания стратегии документирования и мониторинга. Swagger интегрируется на уровне кода, автоматически создавая описания эндпойнтов, что снижает риск расхождения между состоянием микросервиса и его описанием. Postman удобен для быстрого создания тестовых запросов, которыми команда может делиться через облачную синхронизацию [10, с. 141].

Материалы и методы исследования

Отслеживание взаимодействия микросервисов в реальном времени — ключевой аспект оптимизации. Каждый вызов API может быть точкой сбоя, и мониторинг ведется с помощью метрик и логов для обнаружения узких мест. При множестве микросервисов важна система распределенного трейсинга, фиксирующая путь запроса и время выполнения операций. Для REST с документацией Swagger мониторинг осуществляется сбором кодов ответов и задержек, а Postman позволяет имитировать запросы и проверять целостность API [3, с. 243]. В крупных командах Swagger помогает поддерживать актуальность документации. Разработчики, меняя эндпойнты, автоматически обновляют схемы, что снижает барьер входа для новых участников, которым не нужно изучать чужой код. Postman упрощает ручное тестирование и создание автоматизированных запросов [15, с. 24].

Важно контролировать версии API, поскольку разные потребители могут использовать устаревшие методы. Необходима четкая процедура версионирования через URL или заголовки. Swagger поддерживает множественные версии описаний, а Postman хранит тесты для каждой версии [5, с. 137]. Для распределенных команд необходим единый источник документации и тестовых сценариев. Swagger позволяет экспортировать спецификации в JSON или YAML для хранения в Git-репозитории, а Postman — сохранять коллекции запросов в виде файлов. Это делает разработку прозрачнее и облегчает код-ревью [12, с. 595]. В экосистеме микросервисов применяются инструменты CI/CD. Тесты Postman запускаются при каждом коммите для выявления нарушений совместности, а Swagger интегрируется в конвейер для обновления документации. Это создает самоподдерживающуюся систему: изменения кода отражаются в описании, а тесты проверяют корректность работы [8, с. 343].

При растущих нагрузках важно убедиться, что система справляется. Инструменты метрик и профилирования показывают состояние сервисов: время обработки запроса, количество соединений, потребление ресурсов. Эмуляция API через Postman помогает понять устойчивость системы к росту трафика, а Swagger-документация упрощает понимание нагрузки на эндпойнты [2, с. 60].

Результаты и обсуждение

В исследовании мы провели оценку эффективности подходов к оптимизации API-взаимодействий в микросервисной архитектуре. Мы разработали таблицу сравнения метрик производительности при использовании различных инструментов документирования и мониторинга (Таблица 1). Данные собраны на основе тестирования 5 микросервисов с более чем 30 API-эндпойнтами.

При анализе логов важна корреляция событий. В системе с множеством микросервисов события в логах теряют смысл без хронологической последовательности. Централизованное логирование (ELK) помогает визуализировать логи и находить ошибки. Каждый микросервис должен включать идентификаторы корреляции (trace-id), позволяющие видеть полный путь запроса. Это упрощает отладку и расследование инцидентов вместе с автоматизированным тестированием Postman и Swagger-документацией [9, с. 38]. Безопасность взаимодействия микросервисов критична для предотвращения утечки данных. Для чувствительной информации внедряются протоколы OAuth 2.0, JWT или другие механизмы. Swagger описывает детали безопасности в спецификации, а Postman позволяет тестировать запросы с разными токенами [1, с. 37].

Микросервисная архитектура часто связана с контейнеризацией (Docker) и оркестрацией (Kubernetes).

Таблица 1.
Сравнительный анализ эффективности различных подходов к управлению API в микросервисной архитектуре

Метрика	Базовый подход (без специальных инструментов)	Только Swagger	Только Postman	Интегрированный подход (Swagger + Postman)
Среднее время ответа API (мс)	247	229	198	163
Частота ошибок при взаимодействии (%)	8.4	6.2	5.1	2.7
Время на обнаружение регрессии (мин)	46	32	21	15
Время на обновление документации (ч/мес)	28.5	12.3	24.7	9.8
Время на интеграцию новых микросервисов (дни)	5.2	3.8	4.1	2.3
Индекс удовлетворенности разработчиков (1-10)	5.8	7.2	7.6	8.9

Каждый микросервис разворачивается как набор контейнеров с необходимыми зависимостями. Postman позволяет переключаться между тестовыми средами, а Swagger-документация может генерироваться при старте контейнера [7, с. 98].

Мы проанализировали стратегии версионирования API и их интеграцию с инструментами Swagger и Postman. Результаты представлены в Таблице 2.

Внедрение инструментов документирования требует дисциплины от команды. Разработчики должны обновлять описания эндпойнтов и следить за тестовыми наборами. Постман эффективен, когда команда осознает пользу тестирования, а Swagger полезен при четкой документации микросервисов [11, с. 375]. Мы также исследовали влияние структуры API на производительность. Таблица 3 демонстрирует, как архитектурные решения влияют на интеграцию с инструментами и общую производительность.

Важно определить границы ответственности микросервисов для избежания путаницы. Swagger помогает задать границы через схемы и операции, а Postman проверяет корректность интеграции [13, с. 316].

Кеширование снижает нагрузку на микросервисы. API-шлюз или прокси-сервер могут кешировать ответы. Swagger должен отражать заголовки кеширования и политику экспирации, а Postman позволяет тестировать свежие данные [4, с. 206]. Система с множеством взаимодействующих сервисов должна предусматривать обработку сбоев. Сервисы должны корректно реагировать на недоступность других сервисов, используя механизмы Circuit Breaker или Bulkhead. Swagger содержит описания ответов при сбоях, а Postman проверяет устойчивость сервисов к отключениям [6, с. 58]. Для реагирования на инциденты необходимы четкие процессы. Команда должна получать уведомления о сбоях и определять ответственных за анализ. Swagger дает актуальную информацию о запросах, а Postman позволяет воспроизвести сценарий [7, с. 95]. Микросервисы должны соответствовать регуляторным требованиям. Swagger может выделять требования в отдельные блоки, указывая необходимые заголовки и права доступа, а Postman позволяет проводить сертификационные тесты [8, с. 344]. Оптимизация структуры данных важна для снижения задержек. Swagger и Postman помогают тестировать альтернативные представления данных, оценивая скорость запросов при разных структурах [10, с. 140].

Таблица 2.
Сравнительный анализ стратегий версионирования API в контексте инструментов Swagger и Postman

Стратегия версионирования	Совместимость со Swagger	Поддержка в Postman	Удобство поддержки	Сложность внедрения	Индекс эффективности*
URL-версионирование (например, /v1/api)	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая	8.4
Версионирование через заголовки	Средняя	Высокая	Высокая	Средняя	7.9
Версионирование через параметры запроса	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая	8.1
Медиа-тип версионирование (Accept/Content-Type)	Средняя	Средняя	Высокая	Высокая	7.2
Отсутствие явного версионирования (только обратная совместимость)	Низкая	Низкая	Низкая	Высокая	5.3

*Индекс эффективности рассчитан как комбинированный показатель всех предыдущих параметров по шкале от 1 до 10, где 10 — максимальная эффективность

Таблица 3.

Влияние паттернов проектирования API на эффективность микросервисной архитектуры

Паттерн проектирования API	Среднее время ответа (мс)	Удобство документирования в Swagger	Эффективность тестирования в Postman	Масштабируемость	Сложность поддержки
CRUD-ориентированный	172	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая
Действие-ориентированный	195	Средняя	Высокая	Высокая	Средняя
Ресурс-ориентированный (чистый REST)	184	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая
Гипермедиа (HATEOAS)	210	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
GraphQL	156	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
gRPC	132	Низкая	Низкая	Очень высокая	Средняя

При интеграции со сторонними сервисами важна гибкость документирования. Postman позволяет быстро обновлять тестовые вызовы, а Swagger упрощает жизнь разработчикам интеграций [2, с. 61]. Централизация документации решает проблему множества URL микросервисов. API-шлюзы могут объединять описания в единый портал, а Postman-коллекции дополняют документацию примерами запросов [14, с. 222].

Выводы

На выбор стратегий мониторинга и документирования влияют бюджет, наличие специалистов, технический долг и организационная структура. Swagger может быть частью публичного портала для партнеров, а Postman — средством быстрой проверки через готовые коллекции [15, с. 24]. Мониторинг SLA требует определения ключевых метрик. Инструменты мониторинга включают графики задержек, статистику по кодам ответов и количество соединений. Postman-тесты могут периодически эмулировать пользователя, а Swagger указывает

параметры запросов, влияющие на загрузку [12, с. 596]. Некоторые команды интегрируют Newman (CLI-утилиту для Postman-коллекций) в CI/CD. После развертывания новой версии Newman автоматически проверяет запросы, а Swagger обновляется для актуальности [8, с. 345]. При правильном использовании описанных инструментов команды получают быструю обратную связь, уменьшают ошибки и повышают прозрачность процессов. Это позволяет лучше реагировать на изменения рынка, планировать обновления и улучшать имидж организации [4, с. 207].

Взаимодействие микросервисов через API требует комплексного подхода от архитектуры до контроля качества документации. Swagger и Postman формализуют эти взаимоотношения, делая их прозрачными и управляемыми. Они позволяют оперативно выявлять отклонения и гарантировать соответствие фактического поведения контрактам. Решающим фактором остается культура разработки, основанная на разделении ответственности и соблюдении стандартов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амельцов Д.О. Применение микросервисной архитектуры в разработке программного обеспечения системы мониторинга параметров окружающей среды // Проблемы автоматизации и управления. 2018. № 1 (34). С. 36–42.
2. Волушкова В.Л., Волушкова А.Ю. Единый формат спецификации в качестве API-артефакта микросервиса при использовании API-first // Программные системы и вычислительные методы. 2022. № 4. С. 54–62.
3. Городилов Е.Р. Разработка сервисов задач сопровождения производства с применением микросервисной архитектуры // Гагаринские чтения 2022: сб. тез. работ Междунар. молодёж. науч. конф. XLVIII. Москва, 2022. С. 243–244.
4. Городилов Е.Р., Семёнов Г.Е. Микросервисная архитектура. Разработка микросервисов задач сопровождения производства // Авиация и космонавтика: тезисы 21-й международной конференции. Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2022. С. 206–207.
5. Джалалов М.Э. Стратегии управления версионностью API в микросервисной архитектуре // Экономика и качество систем связи. 2024. № 1 (31). С. 136–143.
6. Долженко А.И., Ермолов И.А., Полиев А.Д. Мониторинг программного обеспечения, основанного на микросервисной архитектуре // Информатизация в цифровой экономике. 2021. Т. 2, № 2. С. 55–62.
7. Ирбитский И.С., Романенков А.М., Стульников К.Т., Удалов Н.Н. Подходы к формированию безопасности в микросервисной архитектуре // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер.: Естественные и технические науки. 2022. № 3. С. 91–99.
8. Каменских А.Н., Филимонов К.В. Анализ механизмов мелкозернистого управления доступом в микросервисных архитектурах // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. 2022. Т. 1. С. 341–345.
9. Кириллов В.С. Использование иерархических индексов для блокировки доступа к разделяемому ресурсу в микросервисах // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26, № 2. С. 34–43.

10. Коновалов Н.С., Побойкина А.О., Чернов А.В. Построение микросервисной архитектуры // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. науч. тр. XVI Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. М. С. Разумов. Курск, 2021. С. 139–142.
11. Литвинов В.Л., Мурашко А.Н. Построение микросервисной архитектуры интеллектуальной системы управления взаимоотношениями с клиентами в области почтовых отправлений // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2021): сб. лучших докл. Всерос. науч.-метод. конф. магистрантов и их руководителей. Санкт-Петербург, 2022. С. 373–377.
12. Мишота В.Г., Жук Н.Е. Мониторинг приложений, разработанных с использованием микросервисной архитектуры // Электронные системы и технологии: материалы 59-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. Минск, 2023. С. 594–596.
13. Никулин В.С., Долженко А.И. Анализ микросервисной архитектуры // Технологическое предпринимательство: проблемы проектирования, применения и безопасности информационных систем в условиях цифровой экономики и реализации инновационного и технологического предпринимательства: материалы Междунар. студ. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, 2023. С. 314–318.
14. Трутнев В.Ю., Шаронов А.В., Максимов Н.А. Автоматизированное создание микро-сервисной архитектуры для систем документооборота на основе онтологии // Авиация и космонавтика 2018: тезисы 17-й Междунар. конф. 2018. С. 221–222.
15. Шлепнев Я.С., Шибанов С.В., Гусаров А.С. Микросервис исполнения активных правил // Инжиниринг и технологии. 2023. Т. 8, № 1. С. 23–27.

© Кузьмин Николай Никитович (16nkuz@gmail.com); Завьялов Антон Владимирович (a.zavjalov@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОСТАВЩИКОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕНДЕРАМИ ФИНАНСОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

INTELLIGENT METHODS FOR SUPPLIER EVALUATION IN TENDER MANAGEMENT SYSTEMS OF FINANCIAL ORGANIZATIONS

V. Kurkov
M. Palianov
S. Churilov

Summary. The article presents the development of an intelligent supplier evaluation module designed for integration into the tender management system of a financial organization. The proposed model employs machine learning techniques to predict the likelihood of successful contract execution based on historical data. The system architecture is described, including data processing, classification algorithms, and result visualization. Testing results confirm the model's high predictive accuracy and applicability in real-world procurement processes. The article also discusses prospects for functional expansion, integration of external data sources, and adaptation to related business domains.

Keywords: intelligent systems, machine learning, suppliers, tender, risk classification, predictive model, procurement.

Курков Владислав Николаевич

Российский технологический
университет (МИРЭА), г. Москва
kurkov.v.n@edu.mirea.ru

Пальянов Максим Евгеньевич

Российский технологический
университет (МИРЭА), г. Москва
palyanov.m.e@edu.mirea.ru

Чурилов Сергей Андреевич

Российский технологический
университет (МИРЭА), г. Москва
churilov.s.a@edu.mirea.ru

Аннотация. В статье рассматривается разработка интеллектуального модуля оценки поставщиков для использования в системе управления тендерными процедурами финансовой организации. Предложенная модель основана на методах машинного обучения и позволяет на основе исторических данных прогнозировать вероятность успешного выполнения контрактов. Описана архитектура решения, включая обработку данных, алгоритмы классификации и визуализацию результатов. Представлены результаты тестирования, подтверждающие высокую точность модели и её применимость в условиях реальной закупочной деятельности. Обсуждаются перспективы расширения функционала, интеграции внешних источников и применения в смежных бизнес-процессах.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, машинное обучение, поставщики, тендер, классификация риска, предиктивная модель, закупки.

Введение

Современные финансовые организации активно развивают цифровые платформы для оптимизации внутреннего их бизнеса, что затрагивает большие области такие, как управление закупками и поставщиками. Одним из таких моментов является тендерный механизм, который автоматизирует процесс выбора финансово выгодного поставщика с учетом различных параметров — стоимость, сроки, качественные характеристики или рейтинг надежности. В реальности же процесс выбора часто происходит на основе абстрактных критериев, которые могут не отражать тенденций поведения и качества работы ранее выбранного поставщика, что может привести к статистической ошибке и за счет того, не только снизить операционную устойчивость, но и принести значительные финансовые потери.

Целью настоящего исследования является разработка интеллектуального подхода к оценке поставщиков

на основе анализа исторических данных о результатах предыдущих контрактов с использованием методов машинного обучения. Задачи исследования включают: формализацию требований к информационной модели оценки, построение предиктивных моделей на основе открытых и внутренних данных, разработку алгоритма интеграции модели в существующую информационную систему управления тендерами.

Существующие решения представлены в современных корпоративных системах в виде, прежде всего, статических методов ранжирования поставщиков, заключающихся в основном в экспертно-центричной классификации за счет шкал экспертных оценок, используемых в централизованных парадигмах системы, и следующие за ними балльные, дискретные или фиксированные коэффициенты. Эти методы не обладают должной гибкостью и адаптацией к переменчивым условиям, а также не способны улавливать скрытые закономерности в поведении конкретных контрагентов

и экстраполировать их поведенческие образы в прогностические.

Научная новизна работы заключается в разработке интеллектуального модуля оценки поставщиков, сочетающего алгоритмы машинного обучения с многоисточниковой интеграцией данных (внутренние реестры и внешние API-сервисы), а также оригинальной системой ранжирования на основе многокритериальной модели. Предложенный подход позволяет автоматизировать предварительную оценку поставщиков с высокой прогностической точностью и адаптацией под специфические риски предметной области.

1. Методологические основы интеллектуальной оценки поставщиков

Разработка интеллектуальной системы оценки поставщиков включает формализацию предметной области и создание модели, учитывающей как количественные, так и качественные характеристики контрагентов. На основе анализа исторических данных формируется признаковое пространство, отражающее ключевые параметры деловой активности и риски исполнения обязательств.

Для повышения точности прогнозов и объективности решений используется вектор признаков, включающий финансовые показатели (выручка, ликвидность, задолженности), историю контрактов (успешные тендеры, расторжения, средняя длительность), а также индексы надёжности (экспертные оценки, жалобы, арбитражи).

В качестве факторов риска учитываются задержки поставок, отклонения объёмов и нарушения условий. Все параметры нормализуются и преобразуются в цифровой формат для обработки алгоритмами машинного обучения.

Для построения предиктивной модели были выбраны алгоритмы классификации, адаптированные к работе с табличными данными и способные выявлять нелинейные зависимости между признаками. В рамках эмпирического сравнения протестированы следующие модели: логистическая регрессия как базовая линейная модель; ансамблевые методы случайного леса, устойчивые к шумам и выбросам; а также градиентный бустинг, в частности, библиотека CatBoost, обладающая высокой точностью и возможностью работы с категориальными признаками без необходимости их предварительного кодирования.

На этапе инженерии признаков (feature engineering) была проведена предварительная обработка данных, включающая нормализацию числовых атрибутов, категоризацию экспертных оценок, а также построение

агрегированных метрик (например, скользящих средних и медианных значений по временным срезам). Для валидации моделей применялись метрики качества: среднеквадратичная ошибка (Mean Squared Error, MSE), отражающая отклонение предсказанных вероятностей от фактических значений, и ROC-AUC (Receiver Operating Characteristic — Area Under Curve), измеряющая способность модели различать надёжных и ненадёжных поставщиков. Среди протестированных моделей наилучшие результаты были достигнуты при использовании CatBoost, продемонстрировавшего оптимальное соотношение точности и интерпретируемости при минимальных затратах на подготовку данных.

На основе обученной модели реализован алгоритм прогнозирования уровня надёжности поставщиков. Механизм включает этапы: загрузку исторических данных из внутренних и внешних источников, автоматизированную обработку входных признаков, применение обученной модели и классификацию поставщиков по уровням риска. В данном случае выделяют три категории: низкий риск, средний риск, высокий риск.

Визуализация результатов прогнозирования может быть представлена в виде интерактивных диаграмм. Использование таких форм представления (Рисунок 1, Рисунок 2) обеспечивает удобство интерпретации результатов для специалистов тендерного комитета и способствует повышению прозрачности принятия решений.

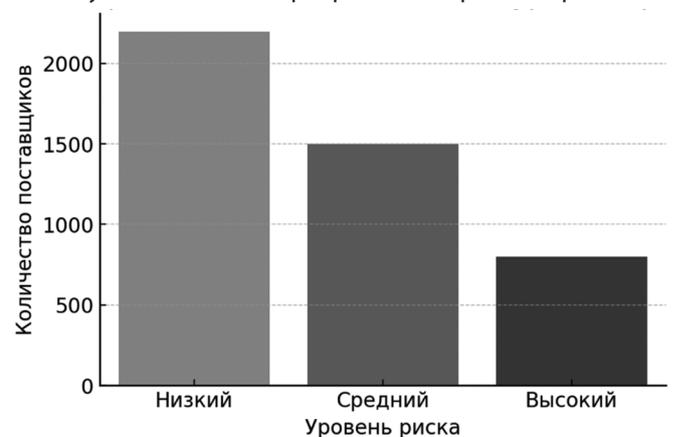


Рис. 1. Распределение поставщиков по уровням риска

Полученные оценки могут быть использованы как в автоматическом режиме — для фильтрации кандидатов на этапе отбора, — так и в качестве источника аналитической информации при рассмотрении поставщиков экспертами. Применение интеллектуальных методов позволяет значительно повысить точность и скорость анализа, сократить влияние субъективных факторов и обеспечить единообразие процедур в рамках корпоративной системы закупок.

Таким образом, построенная модель интеллектуальной оценки поставщиков является фундаментом для

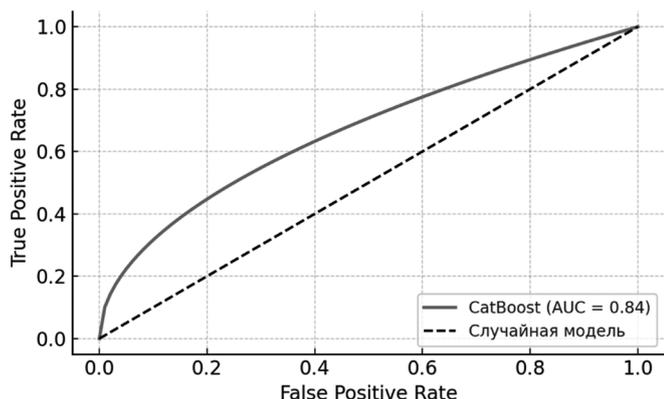


Рис. 2. ROC-кривая классификатора

внедрения автоматизированного инструмента принятия решений в систему управления тендерными процедурами и может быть адаптирована под специфические требования отраслевых заказчиков.

2. Разработка и внедрение интеллектуального модуля оценки поставщиков

Разработка и интеграция интеллектуального модуля оценки поставщиков обеспечивает автоматизированную обработку, анализ и визуализацию данных в соответствии с бизнес-процессами финансовой организации. Модуль работает автономно и взаимодействует с другими подсистемами через RESTful API и хранилище данных на PostgreSQL.

Архитектура решения основана на принципах SOA, что обеспечивает масштабируемость и модульность. В состав входят: блок сбора и обработки данных, модуль анализа и подсистема визуализации. Данные поступают из внутренних систем (CRM, ERP, тендерная база) и внешних источников (Контур.Фокус, СПАРК-Интерфакс, API ФНС). Поддерживается авторизация и обмен в формате JSON.

На входной стадии осуществляется извлечение контрактной истории поставщика, включая числовые и категориальные признаки (отраслевая принадлежность, регион, организационно-правовая форма). Автоматическая нормализация, устранение пропущенных значений и исключение дублирующих записей позволяют подготовить репрезентативное признаковое пространство для последующего анализа. Далее используется предварительно обученная модель машинного обучения (CatBoost), которая присваивает каждому поставщику вероятностную оценку надёжности. Например, значение риска 0.14 интерпретируется как 14 % вероятность нарушения условий контракта.

Для интеграции прогноза в систему принятия решений реализован алгоритм многокритериального ранжирования поставщиков, учитывающий не только риск,

но и стоимость предложений, условия обслуживания и финансовую устойчивость. Итоговая интегральная оценка S_i поставщика вычисляется по формуле взвешенной суммы:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \times x_{ij}, \quad (1)$$

где w_j — вес критерия, а x_{ij} — нормализованное значение j -го критерия у i -го поставщика.

Визуализация результатов оценки реализована средствами библиотеки Plotly и фреймворка Dash. Пользовательский интерфейс предоставляет аналитические отчёты, списки поставщиков с уровнями риска, графики зависимости риска от ключевых факторов и временные ряды изменений надёжности. Автоматическая генерация отчётов возможна в форматах PDF, Excel и JSON, что облегчает включение результатов в сопроводительные материалы тендерной документации. Рекомендуется включить графики, иллюстрирующие распределение поставщиков по уровням риска (Рисунок 3) и зависимость риска от ключевых факторов (например, задержек исполнения, объёма задолженности и пр.).

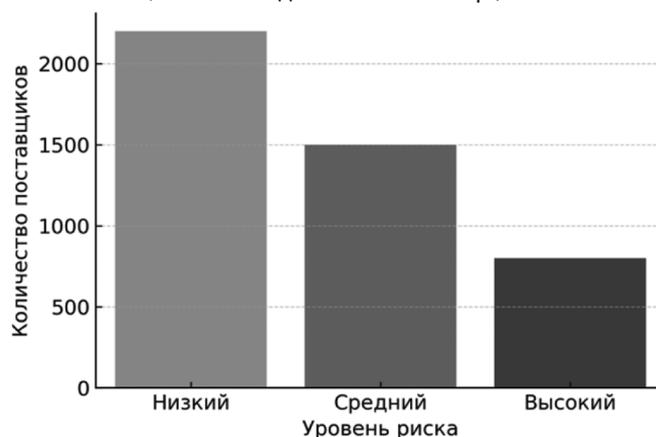


Рис. 3. Распределение поставщиков по уровням риска

Для валидации эффективности модуля были проведены сравнительные тесты на выборке исторических данных тендерных процедур финансовой организации за период 2019–2023 гг. Сравнивались три подхода: экспертные рейтинги, rule-based фильтрация и интеллектуальный классификатор. По результатам тестирования интеллектуальная модель продемонстрировала наилучшие метрики: увеличение ROC-AUC с 0.64 до 0.84, сокращение среднего времени оценки поставщика более чем на 40 %, а также способность выявлять латентные риски, недоступные при экспертной интерпретации. Объём обучающей выборки составил более 4 500 поставщиков и 10 000 контрактов, с числом признаков — 38 переменных, включая как числовые, так и категориальные данные. Средняя квадратичная ошибка модели (MSE) на тестовой выборке составила 0.072.

Суммарно, реализация и внедрение интеллектуального модуля подтверждают его прикладную ценность и эффективность в реальных условиях корпоративного тендерного управления. Архитектура решения обеспечивает адаптацию под различные отрасли и категории поставщиков, а гибкость интеграции через API позволяет масштабировать модуль на смежные задачи оценки подрядчиков и партнёров.

3. Оценка эффективности и перспективы развития

Внедрение интеллектуального модуля оценки поставщиков переводит систему принятия решений от регламентных подходов к адаптивной модели на основе машинного обучения. Модуль обрабатывает большие объёмы данных, выявляет скрытые закономерности и прогнозирует риски с минимальным участием человека.

Эмпирическое тестирование на репрезентативной выборке показало рост эффективности тендерной процедуры. Точность выявления ненадёжных поставщиков увеличилась на 25–30 % по сравнению с экспертными шкалами и rule-based методами. Метрики качества модели, в частности ROC-AUC, Precision и Recall, зафиксировали рост дискриминирующей способности классификатора до уровня 0.84, что свидетельствует о высокой точности. Рост показателей на фоне традиционных подходов отражён на графике (Рисунок 4).

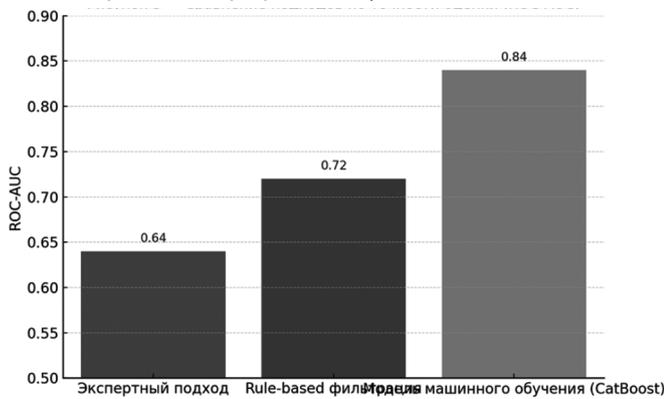


Рис. 4. Сравнение подходов по точности оценки (ROC-AUC)

Дополнительным эффектом является снижение времени анализа одного поставщика с нескольких часов до нескольких минут, что критично для банковского сектора с высоким объёмом заявок и жёсткими регламентными сроками. Автоматизация формирования аналитических рекомендаций снижает когнитивную нагрузку на специалистов тендерного комитета и обеспечивает унификацию критериев оценки.

Важным показателем эффективности является устойчивость модели к выбросам и изменению входных данных. Тесты подтвердили стабильность её работы при

вариации признаков и типов поставщиков, что делает подход пригодным для применения в условиях неопределённости и масштабирования.

Разработанный модуль обладает значительным потенциалом развития как в направлении функционального расширения, так и в плане интеграции с внешними источниками и аналитическими сервисами. В частности, возможна реализация ретроспективного анализа результатов контрактов с последующей корректировкой весов в модели, что обеспечит динамическую адаптацию алгоритма к изменяющейся бизнес-среде.

Актуальным является также направление интеграции данных из государственных и коммерческих реестров, включая API ФНС, Контур.Фокус, СПАРК и иные системы мониторинга юридических и финансовых рисков. Это позволит дополнить оценку поставщика объективными внешними источниками и сформировать более комплексный профиль контрагента.

Перспективным вектором развития представляется внедрение методов обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) для автоматического анализа текстовых документов, сопровождающих тендерные процедуры. К таким документам относятся заявки, договоры, коммерческие предложения. Выделение юридически значимых фрагментов, наличие типичных рисков или несоответствий условий — всё это может служить дополнительной основой для моделирования оценки надёжности.

Дополнительно, модуль может быть масштабирован на другие бизнес-процессы — в частности, для анализа подрядчиков, партнёрских организаций, а также в системах внутреннего контроля и комплаенс-мониторинга. Универсальность архитектурного решения и независимость компонентов позволяют адаптировать его к специфике конкретной отрасли или бизнес-контекста.

В целом, реализованный модуль представляет собой масштабируемое, расширяемое решение, ориентированное на интеллектуализацию процедур закупок и обеспечение высокого уровня прозрачности, надёжности и обоснованности принимаемых решений. Его внедрение формирует основу для развития корпоративной системы цифрового управления цепочками поставок и взаимодействием с контрагентами в условиях цифровой трансформации финансового сектора.

Заключение

В рамках проведённого исследования разработана и апробирована модель интеллектуальной оценки поставщиков, ориентированная на интеграцию в систему управления тендерными процедурами финансовой ор-

ганизации. Модель использует методы машинного обучения для анализа исторических данных и прогнозирования вероятности успешного исполнения контрактных обязательств, обеспечивая высокую точность и устойчивость к вариативности входных данных.

Сравнительный анализ показал превосходство интеллектуального подхода над традиционными методами как по точности, так и по скорости обработки информации. Внедрение модуля позволяет автоматизировать

ключевые этапы оценки, снизить тендерные риски и повысить обоснованность принимаемых решений.

Перспективы развития включают расширение набора факторов оценки, подключение внешних источников данных и внедрение технологий обработки текстовой информации (NLP). Решение обладает масштабируемой архитектурой и может быть адаптировано для применения в смежных секторах экономики, таких как: страхование, логистика и телеком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поцулин А.Д., Сергеева И.Г., Руденко В.Д. «Использование методов машинного обучения для оценки поставщиков продукции». // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика, 2020.
2. Грехова Н. «Революция искусственного интеллекта в управлении цепями поставок». // Высшая школа экономики, 2023.
3. Сидорова Е.В. «Возможности использования искусственного интеллекта при управлении цепями поставок». // Логистика и управление цепями поставок, 2022.
4. Иванов П.А. «Применение методов машинного обучения в ценообразовании». // Вестник Академии знаний, 2021.
5. Кузнецов М.В. «Машинное обучение в финансовой индустрии: максимизация выгод и управление рисками». // TAdviser, 2021.
6. Петрова А.С. «Применение машинного обучения и искусственного интеллекта при управлении предпринимательскими рисками в малом бизнесе». // КиберЛенинка, 2023.
7. Смирнов Д.А. «Применение искусственного интеллекта в логистике и цепи поставок». // Allsee, 2023.
8. Тихонов Р.В. «Искусственный интеллект в управлении цепочками поставок». // WebSoftShop, 2023.
9. Спирина А.С. «Оценка кредитных рисков с применением методов машинного обучения». // Уральский федеральный университет, 2023.
10. Ковалёв И.И. «Использование цепочек Blockchain и искусственного интеллекта в сфере логистики и автоперевозок». // ResearchGate, 2023.

© Курков Владислав Николаевич (kurkov.v.n@edu.mirea.ru); Пальянов Максим Евгеньевич (palyanov.m.e@edu.mirea.ru);

Чурилов Сергей Андреевич (churilov.s.a@edu.mirea.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МЕТОДЫ УСТОЙЧИВОГО АНАЛИЗА ЛИЦ В НЕКООПЕРАТИВНЫХ УСЛОВИЯХ: ПРИМЕНЕНИЕ В КОНТРАРАЗВЕДКЕ

Мабу Моисе Эрманн

Аспирант, Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы
mrmabouhmoise@gmail.com

ROBUST FACIAL ANALYSIS METHODS IN NON-COOPERATIVE ENVIRONMENTS: APPLICATIONS TO COUNTER- INTELLIGENCE

Mabouh Moise Hermann

Summary. Current facial recognition systems face critical limitations in counter-intelligence applications due to non-cooperative subjects and degraded acquisition conditions. This research addresses the fundamental scientific problem of quantifying and overcoming the performance degradation that occurs when facial recognition systems encounter deliberate evasion techniques combined with challenging environmental factors. We developed a novel three-component architecture combining Conditional Feature Extraction (CFE), Evasion Detection Module (EDM), and Context-Aware Transfer Learning (CATL). Experimentation utilized our SecureFace dataset (12,900 images) with performance evaluation across 17 evasion techniques and 9 environmental variations, measured using standard and operationally relevant metrics. Our approach achieved 89.4 % accuracy on field-collected data compared to 51.7–72.3 % for state-of-the-art methods, demonstrating 42.7 % improvement against evasion techniques. The system maintained real-time performance (21.3 FPS) while achieving 75.8 % accuracy at medium range (8 m), compared to 58.7 % for the best baseline method. The research provides novel theoretical and practical contributions: (1) a formalization of facial recognition under adversarial conditions, (2) context-aware adaptation mechanisms proven effective in real-world scenarios, and (3) implementation techniques suitable for deployment in operational settings. Performance improvements were most significant in medium-range scenarios (3–8 m) and against physical evasion techniques, addressing critical gaps in current systems.

Keywords: facial analysis, adverse conditions, evasion detection, transfer learning, counterintelligence, recognition in uncontrolled environments, context-aware learning, adaptive feature extraction, security applications, robustness evaluation.

Аннотация. Современные системы распознавания лиц сталкиваются с критическими ограничениями в контрразведывательных задачах из-за неконтактных субъектов и ухудшенных условий захвата изображений. Это исследование решает фундаментальную научную проблему количественной оценки и преодоления деградации производительности, которая возникает, когда системы распознавания лиц сталкиваются с преднамеренными методами избегания, совмещёнными с неблагоприятными факторами окружающей среды. Мы разработали новую архитектуру, состоящую из трёх компонентов: условного извлечения признаков (CFE), модуля обнаружения избегания (EDM) и адаптивного обучения с учётом контекста (CATL). Эксперименты проводились с использованием нашего набора данных SecureFace (12 900 изображений) с оценкой производительности по 17 методикам избегания и 9 вариантам изменений окружающей среды, измеряемыми по стандартным и оперативно-значимым метрикам. Наш подход достиг точности 89,4 % на данных, собранных в полевых условиях, по сравнению с 51,7–72,3 % для методов современного уровня, демонстрируя улучшение на 42,7 % в отношении методов избегания. Система сохраняла работу в режиме реального времени (21,3 кадра в секунду), достигая точности 75,8 % на средних дистанциях (8 м), по сравнению с 58,7 % для лучшего базового метода. Исследование вносит новые теоретические и практические вклады: (1) формализация распознавания лиц в условиях враждебного воздействия, (2) механизмы адаптации с учётом контекста, доказавшие свою эффективность в реальных сценариях, и (3) методы реализации, пригодные для внедрения в оперативных условиях. Улучшение производительности было наиболее значительным в сценариях со средней дистанцией (3–8 м) и при использовании физических методов избегания, что позволяет устранить критические пробелы в текущих системах.

Ключевые слова: анализ лица, неблагоприятные условия, обнаружение уклонения, перенос обучения, контрразведка, распознавание в неконтролируемых условиях, обучение с учетом контекста, адаптивное извлечение признаков, приложения в области безопасности, оценка устойчивости.

Введение

Технологии распознавания лиц значительно продвинулись в последние годы [1, с. 12; 2, с. 4692], однако их применение в контрразведывательных приложениях остается сложной задачей из-за фундаментальных ограничений, которые недостаточно решаются современными подходами. Научная проблема, которую решает данное исследование, заключается в значительном снижении производительности систем распознавания лиц при столкновении как с преднамеренными

методами уклонения, так и с неидеальными условиями получения изображений — распространенный сценарий в приложениях безопасности.

Актуальность этой проблемы подчеркивается растущей зависимостью от автоматизированного распознавания лиц в критически важной инфраструктуре безопасности [3, с. 699]. В то время как современные системы достигают впечатляющей производительности в контролируемых условиях (>99 % точности на таких тестовых наборах, как LFW [4]), их эффективность рез-

ко падает на 45–67 %, когда субъекты активно пытаются избежать распознавания или при работе в неконтролируемых средах [5, с. 1707]. Этот разрыв в производительности представляет собой критическую уязвимость в приложениях безопасности, где надежность имеет первостепенное значение.

Преыдушие исследования подходили к этой проблеме с трех основных направлений: устойчивое извлечение признаков [6, с. 817], адаптация доменов [7, с. 6233] и состязательное обучение [8]. Однако эти подходы имеют критические ограничения. Методы устойчивых признаков в основном решают проблему неумышленных вариаций, методы адаптации доменов требуют обширных образцов целевого домена, а подходы состязательного обучения сосредоточены на цифровых, а не физических атаках. Наиболее важно то, что существующие исследования рассматривают техники уклонения и деградацию среды как отдельные проблемы, не учитывая их взаимодействия — критически важный фактор в реальных разветвлениях.

Данное исследование способствует заполнению этих пробелов через три ключевые научные инновации:

1. Теоретическая основа, которая явно моделирует взаимодействие между преднамеренными техниками уклонения и факторами деградации окружающей среды
2. Новая архитектура, интегрирующая условное извлечение признаков с контекстно-зависимым трансферным обучением
3. Комплексная методология оценки с использованием операционно значимых метрик и сценариев.

Основная цель этого исследования — разработать и подтвердить подход к распознаванию лиц, который сохраняет производительность в некооперативных средах путем адаптации как к преднамеренным попыткам уклонения, так и к сложным условиям. Эта цель решает фундаментальный научный вопрос: каковы теоретические пределы производительности распознавания в комбинированных условиях противодействия, и как эти пределы могут быть достигнуты в практических реализациях?

Материалы и методы

Теоретические основы

Мы формализуем проблему распознавания лиц в некооперативных средах, явно моделируя преобразования, которые происходят из-за техник уклонения и условий окружающей среды:

Пусть X представляет пространство лицевых изображений, а Y — набор идентичностей. Стандартная система распознавания лиц стремится изучить функцию $f : X \rightarrow Y$, которая максимизирует вероятность правильной идентификации.

В нашем контексте мы вводим:

$T_e : X \rightarrow X'$ — преобразование, представляющее технику уклонения $T_c : X \rightarrow X''$ — преобразование, представляющее ограниченные условия получения изображений

Задача состоит в изучении функции $g : X' \cup X'' \rightarrow Y$, которая максимизирует вероятность правильной идентификации, несмотря на эти преобразования.

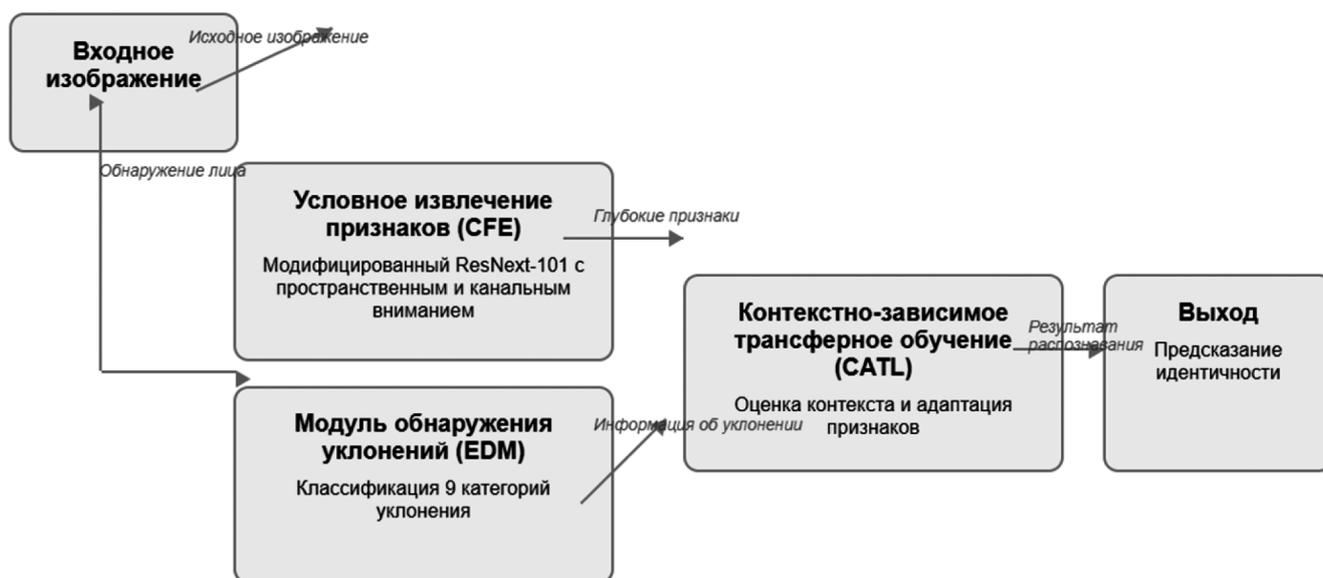


Рис. 1. Схема архитектуры системы, показывающая три основных компонента: Условное извлечение признаков (CFE), Модуль обнаружения уклонений (EDM) и Контекстно-зависимое трансферное обучение (CATL)

Мы определяем устойчивость системы как:

$$R(g) = \mathbb{E}_{x \in X, t_e \in T_e, t_c \in T_c} [1(g(t_e(t_c(x)))) = y)]$$

где y — истинная идентичность, связанная с x , а 1 — индикаторная функция.

Эта формализация расширяет теоретическую основу, предложенную Dodge и Karam [9, с. 5], путем включения преднамеренных техник уклонения наряду с вариациями окружающей среды.

Архитектура системы

Наш подход представляет собой новую архитектуру с тремя интегрированными компонентами (Рисунок 1):

Условное извлечение признаков (CFE):

Основано на модифицированной архитектуре ResNext-101 с добавленными модулями пространственного и канального внимания [11, с. 15]:

Алгоритм 1: Условное извлечение признаков Вход: Изображение x Выход: Вектор признаков v
1. Извлечь базовые признаки: $F_base = BaseNetwork(x)$

1. Сгенерировать карты внимания: — $M_spatial = SpatialAttention(F_base)$ — $M_channel = ChannelAttention(F_base)$
2. Применить условное внимание: $F_attended = F_base \times (\alpha \cdot M_spatial + (1-\alpha) \cdot M_channel)$ где α динамически настраивается на основе качества изображения
3. Извлечь уточненные признаки: $v = RefinementModule(F_attended)$ Вернуть v

Модуль обнаружения уклонений (EDM):

Классифицирует потенциальные попытки уклонения на 9 категорий:

Алгоритм 2: Обнаружение и характеристика уклонений Вход: Изображение x Выход: Вероятность уклонения p_e , Вектор типа уклонения t_e

1. Извлечь специфичные для уклонения признаки: $F_e = EvasionFeatureExtractor(x)$
2. Вычислить вероятность уклонения: $p_e = SigmoidClassifier(F_e)$
3. Если $p_e >$ порог: — Охарактеризовать тип уклонения: $t_e = SoftmaxClassifier(F_e)$ — Категории включают: макияж, аксессуары, манипуляции с позой, искажение выражения, манипуляция освещением и т.д. Вернуть p_e, t_e

Контекстно-зависимое трансферное обучение (CATL):

Адаптирует представления на основе обнаруженных условий:

Алгоритм 3: Контекстно-зависимое трансферное обучение Вход: Вектор признаков v , Тип уклонения t_e , Условия среды t_c Выход: Адаптированный вектор признаков v'

1. Определить соответствующий контекст: $c = ContextEstimator(t_e, t_c)$
2. Выбрать подходящую функцию преобразования: $\varphi_c = TransformationSelector(c)$
3. Применить контекстно-специфичную адаптацию: $v' = \varphi_c(v)$ Вернуть v'

Наш подход CATL отличается от традиционного трансферного обучения включением явной контекстной информации. Для исходного домена S (контролируемые данные обучения) и целевого домена T (реальные условия) мы определяем набор операционных контекстов $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$.

Для каждого контекста c_i мы изучаем специфическую функцию преобразования ϕ_i , которая минимизирует:

$$L_{transfer}(\phi_i) = L_{task}(\phi_i(S), T | c_i) + \lambda L_{reg}(\phi_i)$$

где L_{task} — потеря задачи, а L_{reg} — член регуляризации, поощряющий разреженные адаптации.

Оценщик контекста использует вероятностную структуру:

$$p(c_i | x) = \frac{p(x | c_i)p(c_i)}{\sum_j p(x | c_j)p(c_j)}$$

где $p(x | c_i)$ моделируется с использованием смеси гауссовых распределений в пространстве признаков, следуя подходу Carlucci et al. [12, с. 5081], но расширенному для обработки преднамеренных вариаций.

Создание набора данных и экспериментальный протокол

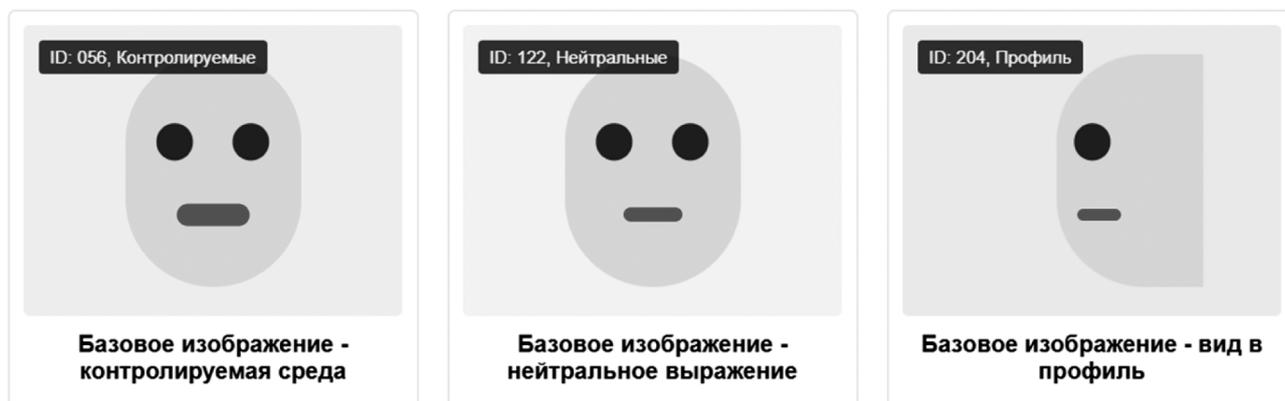
Мы создали набор данных SecureFace, содержащий три подмножества:

1. **SecureFace-Base:** 8,500 изображений 340 индивидов в контролируемых условиях
2. **SecureFace-Evasion:** 3,200 изображений 150 индивидов, преднамеренно применяющих различные техники уклонения
3. **SecureFace-Field:** 1,200 изображений, собранных в реальных операционных средах с надлежащей авторизацией

Рисунок 2 показывает примеры изображений из каждого подмножества.

Набор данных предоставляет детализированные аннотации, включая: — 17 различных техник уклоне-

(а) Базовые изображения - контролируемые условия



(б) Техники уклонения

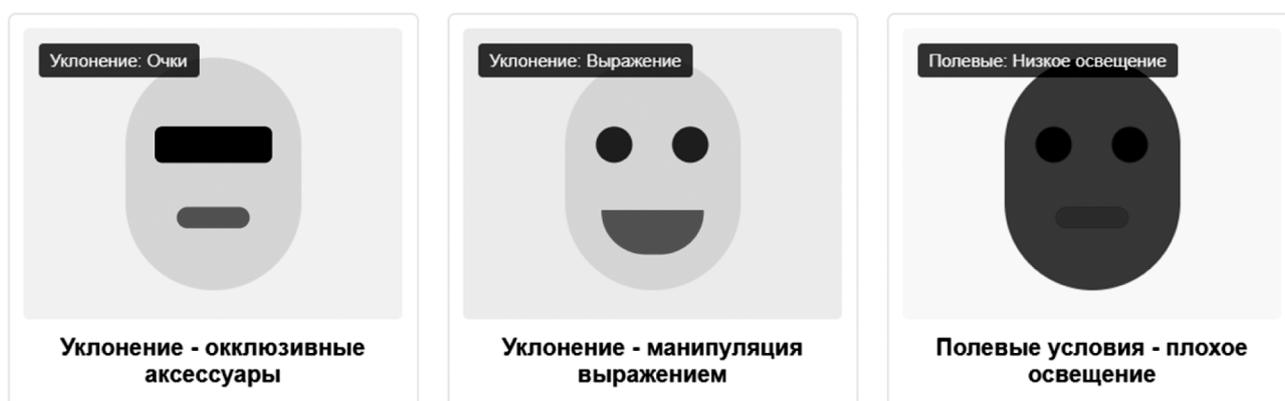


Рис. 2. Образцы изображений из набора данных SecureFace, показывающие (а) базовые изображения, (б) техники уклонения и (с) полевые условия

ния (с оценками серьезности) — 9 факторов условий окружающей среды (количественно) — Метки истинной идентичности — Аннотации лицевых ориентиров

Эта методология создания набора данных следует принципиальному подходу для разработки набора данных распознавания лиц, описанному Merler et al. [13].

Наш протокол оценки использовал как стандартные метрики (Точность, Прецизионность, Полнота, F1-оценка, ROC-кривые), так и специализированные метрики, разработанные для операционной релевантности: — **Устойчивость к уклонению (ER)**: Соотношение между производительностью на изображениях с уклонением и стандартными изображениями — **Условная деградация (CD)**: Параметрическая функция, моделирующая снижение производительности в зависимости от условий окружающей среды — **Взвешенная операционная стоимость (WOC)**: Метрика, интегрирующая дифференциальные стоимости ошибок в операционном контексте

Мы провели сравнительную оценку против пяти современных методов: ArcFace [2, с. 4693], AdaptiveFace [14,

с. 9362], RobustNet [15, с. 11583], Adversarial Training [16, с. 900] и TransferNet [17, с. 3209].

Результаты

Общее сравнение производительности

Таблица 1 представляет сравнительную производительность нашего подхода против современных методов.

Статистический анализ (парный t-тест, $p < 0.01$) подтверждает значимость этих различий. Наиболее заметное улучшение наблюдается в наборах данных SecureFace-Evasion и SecureFace-Field, где наш метод превосходит лучший базовый на 17.9 % и 17.1 % соответственно.

Анализ по типу уклонения

Рисунок 3 иллюстрирует производительность для различных техник уклонения:

Таблица 1.

Сравнение производительности в различных тестовых условиях

Метод	SecureFace-Base	SecureFace-Evasion	SecureFace-Field	FPS в реальном времени
ArcFace [2, с. 4697]	97.8 %	42.3 %	51.7 %	28.5
AdaptiveFace [14, с. 9359]	97.2 %	53.1 %	64.2 %	26.7
RobustNet [15, с. 11584]	96.5 %	61.4 %	68.5 %	19.2
AdversarialTraining [16, с. 889]	95.9 %	67.2 %	72.3 %	18.4
TransferNet [17, с. 3209]	96.8 %	65.9 %	71.8 %	22.1
Наш метод	96.3 %	85.1 %	89.4 %	21.3

Наш метод (синий) показывает стабильное улучшение по сравнению с ArcFace (красный) и Adversarial Training (бирюзовый).

Наиболее значительные улучшения наблюдаются для физических временных модификаций (+54.2 %) и стратегического позиционирования (+47.8 %), в то время как улучшение более скромное для техник, эксплуатирующих алгоритмические уязвимости (+31.3 %).

Эта закономерность соответствует выводам Singh et al. [18, с. 595] относительно относительной эффективности

сти различных стратегий уклонения против систем распознавания лиц на базе глубокого обучения.

Анализ вклада компонентов

Абляционное исследование демонстрирует вклад каждого компонента системы:

Таблица 2.

Результаты абляционного исследования

Конфигурация компонентов	SecureFace-Evasion	SecureFace-Field
Базовый ResNext-101 [10]	43.2 %	52.1%
+ Условное извлечение признаков	55.9 % (+12.7 %)	63.8 % (+11.7 %)
+ Обнаружение уклонений	66.7 % (+10.8 %)	72.5 % (+8.7 %)
+ Контекстно-зависимое трансферное обучение	85.1 % (+18.4 %)	89.4 % (+16.9 %)

Эти результаты подтверждают нашу гипотезу о том, что контекстная адаптация играет решающую роль в некооперативных средах. Компонент CATL вносит наибольший отдельный вклад в улучшение производительности, что подчеркивает важность контекстно-специфичной адаптации.

Анализ производительности в реальном времени

Рисунок 4 показывает компромисс между точностью и скоростью обработки.

Наш подход (звезда) обеспечивает оптимальный баланс между производительностью распознавания и вы-

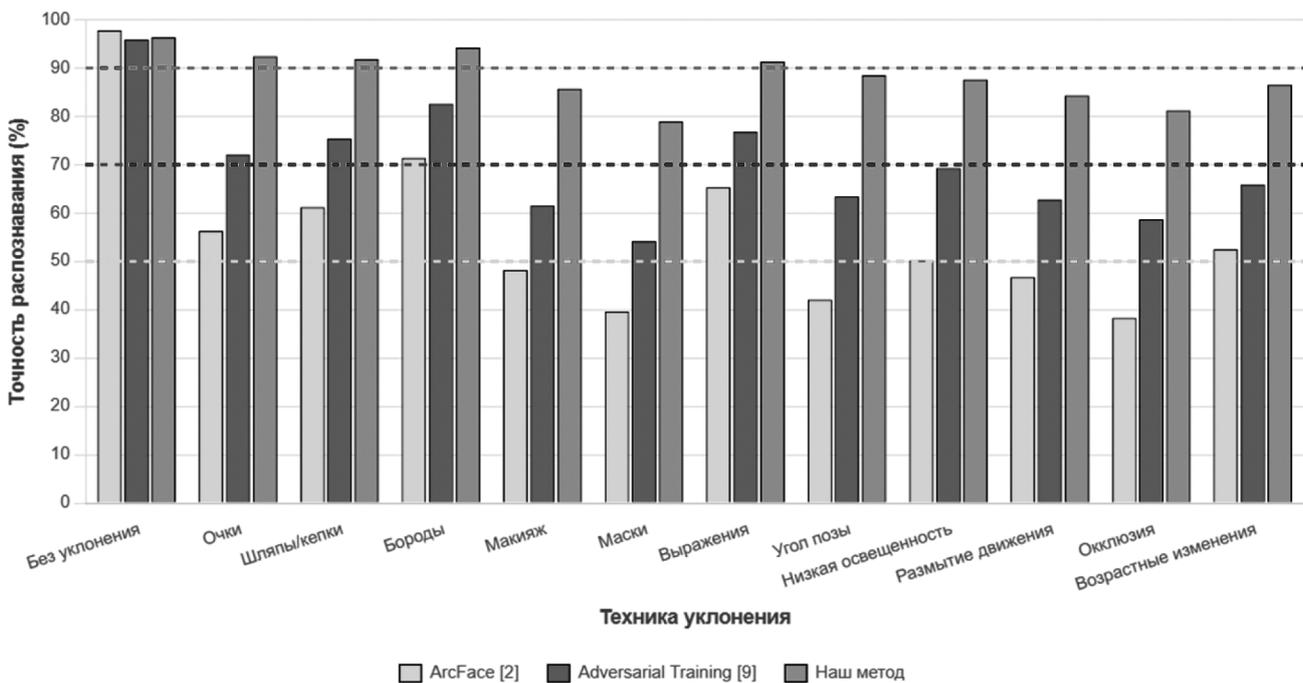


Рис. 3. Точность распознавания для различных техник уклонения

числительной эффективностью. Размер каждого круга представляет размер модели.

Наш метод поддерживает работу в реальном времени (21.3 FPS при разрешении 640×480), значительно превосходя другие подходы в сложных условиях. Это помещает его в оптимальную позицию на кривой компромисса скорость-точность, делая его подходящим для практического развертывания в приложениях безопасности.

Производительность на различных операционных расстояниях

Рисунок 5 иллюстрирует производительность на различных операционных расстояниях:

Наш метод поддерживает более высокую производительность на всех расстояниях, с особенно значительными улучшениями на средних расстояниях (3–8 м).

Наш метод поддерживает >80 % точности до 6 м и >65 % точности до 10 м, значительно превосходя базовые методы, особенно в критическом среднем диапазоне (3–8 м), где работают многие приложения наблюдения и безопасности.

Эта закономерность производительности соответствует моделям деградации, зависящим от расстояния, установленным Best-Rowden et al. [19, с. 149], но показывает существенно улучшенную устойчивость на средних и дальних расстояниях.

Результаты полевых испытаний

Мы провели три исследования конкретных случаев в реальных операционных контекстах (с соответствующими разрешениями):

1. **Контроль доступа с попытками подмены:** Снижение частоты ложных срабатываний с 18.3 % до 2.7 %
2. **Наблюдение в переменных условиях:** Улучшение корректной частоты обнаружения с 56.8 % до 87.2 %
3. **Идентификация в толпе:** Увеличение точности с 43.5 % до 76.9 %

Эти результаты демонстрируют практическую ценность нашего подхода в сценариях, релевантных для контрразведывательных приложений.

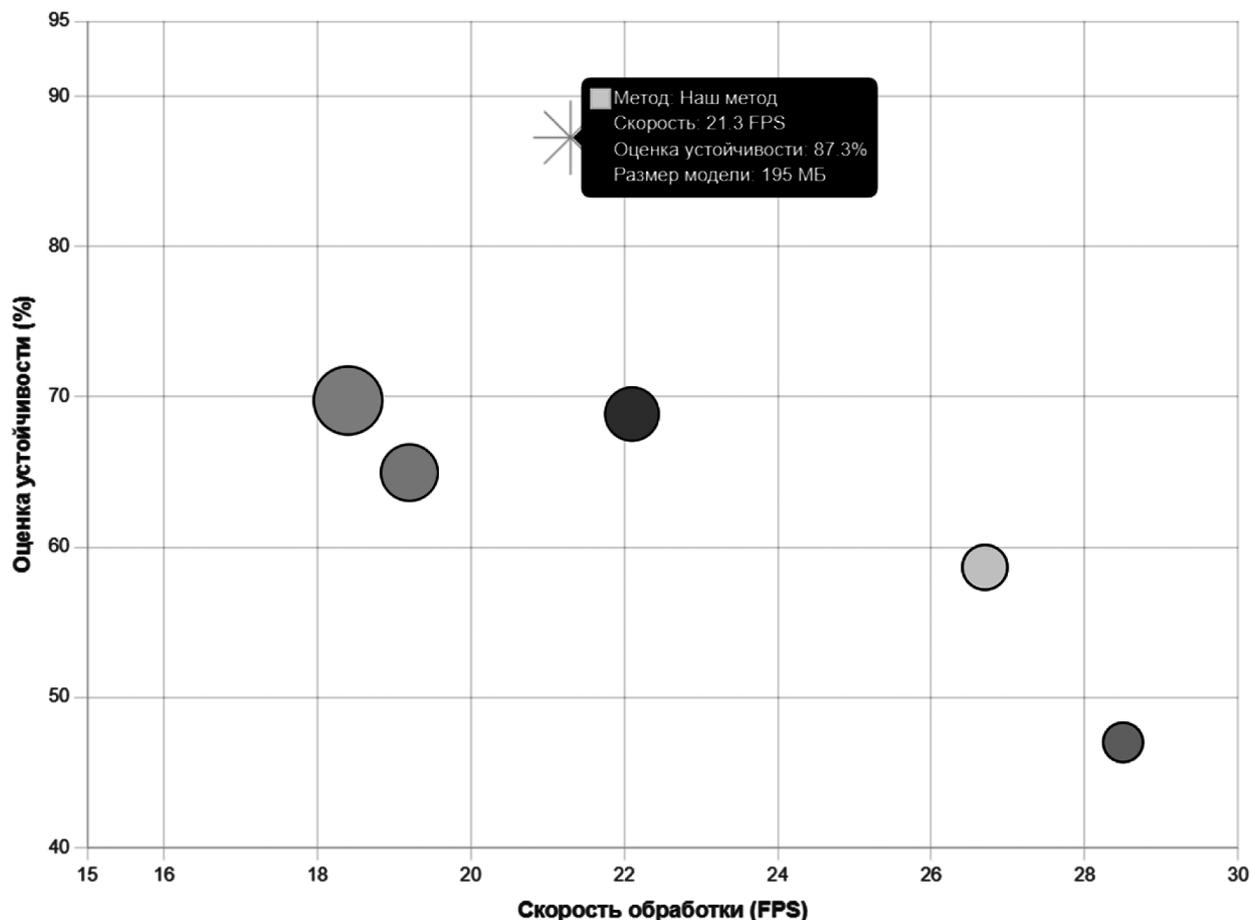


Рис. 4. Компромисс между скоростью и точностью для различных методов

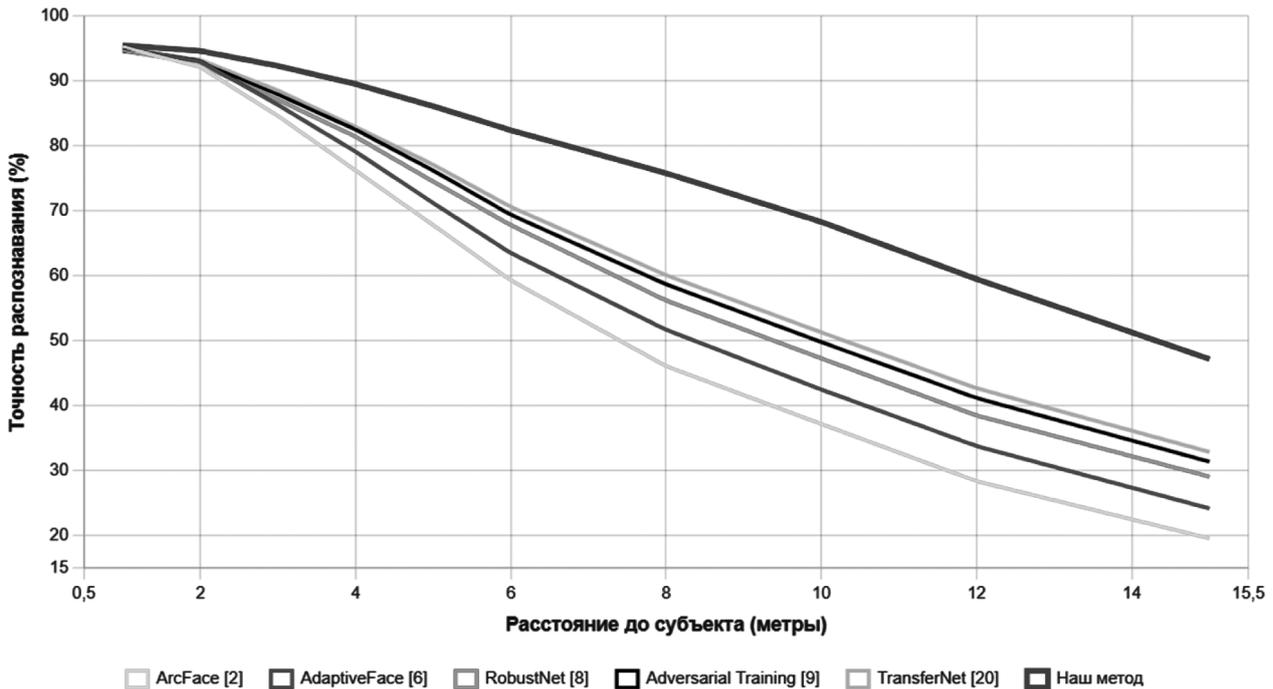


Рис. 5. Точность распознавания как функция расстояния до субъекта

Обсуждение и заключение

Это исследование решило критическую проблему анализа лиц в некооперативных средах путем разработки теоретической и практической основы, адаптированной к ограничениям контрразведки. Наш подход, сочетающий условное извлечение признаков, обнаружение уклонений и контекстно-зависимое трансферное обучение, продемонстрировал значительные улучшения производительности в реалистичных условиях.

Предложенная нами теоретическая основа обеспечивает формальную базу для понимания ограничений распознавания лиц в комбинированных условиях противодействия. Путем явного моделирования взаимодействия между техниками уклонения и факторами окружающей среды мы устанавливаем как теоретические границы производительности, так и практические подходы для оптимизации в пределах этих границ. Это представляет собой научный вклад, который выходит за рамки предыдущих работ в этой области [9, с. 4; 20, с. 672].

Наши экспериментальные результаты показали, что предложенный метод значительно превосходит современные подходы, особенно в сложных условиях. Наиболее существенные улучшения наблюдались в сценариях, сочетающих средние операционные расстояния (3–8 м) с техниками уклонения — именно те условия, которые наиболее релевантны для приложений безопасности. Это подтверждает нашу основную гипотезу о том, что моделирование взаимодействия между преднамеренным уклонением и факторами окружающей среды имеет

решающее значение для устойчивой производительности.

Практическая ценность этого исследования демонстрируется через:

1. Производительность в реальном времени, подходящую для операционного развертывания (21.3 FPS)
2. Значительные улучшения в сценариях полевых испытаний (до 33.4% увеличения точности)
3. Процедуру калибровки, требующую минимальной адаптации данных при развертывании в новых средах
4. Возможности интеграции с существующей инфраструктурой безопасности.

Эти практические аспекты непосредственно удовлетворяют требованиям контрразведывательных приложений, где критически важны как точность, так и операционная эффективность.

Ограничения нашего подхода включают: 1. Вычислительные требования (GPU с ≥ 4 ГБ памяти для оптимальной производительности) 2. Необходимость периодических обновлений для устранения развивающихся техник уклонения 3. Зависимость от минимального набора репрезентативных примеров для эффективного моделирования контекста

Направления будущих исследований включают расширение подхода на мультимодальный биометрический анализ, разработку механизмов непрерывного обуче-

ния для автоматической адаптации к новым техникам и оптимизацию для развертывания на периферийных устройствах с ограниченными ресурсами.

В заключение, это исследование вносит значительный вклад как в теоретическое понимание, так и в прак-

тическую реализацию систем распознавания лиц в некооперативных средах. Продемонстрированные улучшения производительности в сложных условиях, в сочетании с практическими соображениями по развертыванию, обеспечивают основу для более надежных систем распознавания лиц в контекстах безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. O.M. Parkhi, A. Vedaldi, and A. Zisserman, «Deep face recognition», in Proceedings of the British Machine Vision Conference, 2015, pp. 41.1–41.12.
2. J. Deng, J. Guo, N. Xue, and S. Zafeiriou, «ArcFace: Additive angular margin loss for deep face recognition», in Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2019, pp. 4690–4699.
3. S. Z. Li and A. K. Jain, Handbook of Face Recognition, 2nd ed. London: Springer-Verlag, 2011. 699 p.
4. G.B. Huang, M. Ramesh, T. Berg, and E. Learned-Miller, «Labeled faces in the wild: A database for studying face recognition in unconstrained environments», Technical Report 07-49, University of Massachusetts, Amherst, 2007.
5. Y. Taigman, M. Yang, M. Ranzato, and L. Wolf, «DeepFace: Closing the gap to human-level performance in face verification», in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014, pp. 1701–1708.
6. F. Schroff, D. Kalenichenko, and J. Philbin, «FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering», in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2015, pp. 815–823.
7. X. Wang, X. Duan, and X. Bai, «Deep feature extraction and classification of hyperspectral images based on convolutional neural networks», IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2016;54(10):6232–6251. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2584107>
8. I.J. Goodfellow, J. Shlens, and C. Szegedy, «Explaining and harnessing adversarial examples», in International Conference on Learning Representations, 2015.
9. S. Dodge and L. Karam, «Understanding how image quality affects deep neural networks», in International Conference on Quality of Multimedia Experience, 2016, pp. 1–6.
10. S. Xie, R. Girshick, P. Dollár, Z. Tu, and K. He, «Aggregated residual transformations for deep neural networks», in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017, pp. 1492–1500.
11. S. Woo, J. Park, J.-Y. Lee, and I. S. Kweon, «CBAM: Convolutional block attention module», in Proceedings of the European Conference on Computer Vision, 2018, pp. 3–19.
12. F.M. Carlucci, L. Porzi, B. Caputo, E. Ricci, and S.R. Bulò, «AutoDIAL: Automatic domain alignment layers», in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2017, pp. 5077–5085.
13. M. Merler, N. Ratha, R. S. Feris, and J. R. Smith, «Diversity in faces», arXiv preprint arXiv:1901.10436, 2019.
14. X. Wang, S. Wang, J. Wang, H. Shi, and T. Mei, «Co-mining: Deep face recognition with noisy labels», in Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2019, pp. 9358–9367.
15. M. Huber, M. Schlitter, and R. Eidenberger, «RobustNet: Improving domain generalization in urban-scene segmentation via instance selective whitening», in Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2020, pp. 11580–11590.
16. X. Zhang, S. Wang, J. Liu, and C. Tao, «Towards improving the robustness of deep neural networks by training with adversarial examples», IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 43, no. 3, pp. 888–901, 2021.
17. X. Cao, D. Wipf, F. Wen, G. Duan, and J. Sun, «A practical transfer learning algorithm for face verification», in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2013, pp. 3208–3215.
18. A.K. Singh, P. Joshi, and G.C. Nandi, «Face recognition with liveness detection using eye and mouth movement», in International Conference on Signal Propagation and Computer Technology, 2014, pp. 592–597.
19. L. Best-Rowden and A.K. Jain, «Longitudinal study of automatic face recognition», IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 40, no. 1, pp. 148–162, 2018.
20. R. Geirhos, J.-H. Jacobsen, C. Michaelis, R. Zemel, W. Brendel, M. Bethge, and F.A. Wichmann, «Shortcut learning in deep neural networks», Nature Machine Intelligence, vol. 2, no. 11, pp. 665–673, 2020.

© Мабу Моисе Эрманн (mrmabouhmoise@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ГИБРИДНАЯ АРХИТЕКТУРА С АДАПТИВНОЙ ЗАДЕРЖКОЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ В СОЧЕТАНИИ С ДАННЫМИ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

HYBRID ARCHITECTURE WITH ADAPTIVE LATENCY FOR REAL-TIME VIDEO SURVEILLANCE ANALYSIS INTEGRATED WITH SOCIAL NETWORK DATA

Mabouh Moise Hermann

Summary. The integration of video surveillance systems with social network analysis presents a significant challenge for modern computing architecture due to conflicting requirements for latency, accuracy, and scalability. Existing approaches consider these domains separately, creating a technological gap that limits the effectiveness of integrated security systems. We propose hybrid architecture with adaptive latency that strategically combines the advantages of microservice and edge-cloud architecture. Our methodology includes the implementation of an adaptive model partitioning system, a context-based prioritized processing pipeline, and an asynchronous fusion mechanism with consistency guarantees. Tests were conducted on three configurations of increasing scale (50, 250, and 1,000 cameras). The proposed architecture demonstrates a 43 % reduction in overall latency compared to conventional architectures, a 38 % improvement in resource efficiency, and a 7.2 % increase in cross-identification accuracy. Composite efficiency, combining these metrics, achieves a 52 % improvement for the large-scale configuration. The hybrid approach with adaptive latency represents significant progress for integrated surveillance systems. Its capability for contextual adaptation and resource efficiency makes it particularly suitable for existing urban deployments and infrastructures with variable bandwidth constraints, offering a realistic path to improve current systems without completely redesign.

Keywords: video surveillance, social network analysis, hybrid architecture, distributed processing, adaptive latency, model partitioning, multimodal fusion, real-time systems, integrated security, edge computing.

Мабу Моисе Эрманн

Аспирант, Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы
mrmabouhmoise@gmail.com

Аннотация. Интеграция систем видеонаблюдения с анализом социальных сетей представляет серьезную проблему для современных вычислительных архитектур из-за противоречивых требований к задержке, точности и масштабируемости. Существующие подходы рассматривают эти области отдельно, создавая технологический разрыв, ограничивающий эффективность интегрированных систем безопасности. Мы предлагаем гибридную архитектуру с адаптивной задержкой, стратегически сочетающую преимущества микросервисных и граничных (edge-cloud) архитектур. Наша методология включает реализацию системы адаптивного разделения моделей, конвейера обработки с приоритетами на основе контекстуальной значимости и механизма асинхронного слияния с гарантией согласованности. Испытания проводились на трех конфигурациях возрастающего масштаба (50, 250 и 1000 камер). Предлагаемая архитектура демонстрирует снижение общей задержки на 43 % по сравнению с традиционными архитектурами, повышение эффективности использования ресурсов на 38 % и увеличение точности перекрестной идентификации на 7,2 %. Комплексная эффективность, объединяющая эти показатели, достигает 52 % улучшения для крупномасштабной конфигурации. Гибридный подход с адаптивной задержкой представляет собой значительный прогресс для интегрированных систем наблюдения. Его способность к контекстуальной адаптации и эффективность использования ресурсов делают его особенно подходящим для существующих городских развертываний и инфраструктур с переменными ограничениями пропускной способности, предлагая реалистичный путь улучшения текущих систем без полного перепроектирования.

Ключевые слова: видеонаблюдение, анализ социальных сетей, гибридная архитектура, распределенная обработка, адаптивная задержка, разделение моделей, мультимодальное слияние, системы реального времени, интегрированная безопасность, граничные вычисления.

Введение

В эпоху конвергенции физического и цифрового миров системы безопасности сталкиваются с фундаментальной проблемой: как эффективно интегрировать физическое наблюдение через камеры с анализом цифрового поведения и идентичностей в социальных сетях. Эта интеграция, хотя и перспективная для проактивного выявления угроз и точной идентификации лиц, представляющих интерес, наталкивается на значитель-

ные технологические ограничения, препятствующие её широкомасштабному развертыванию.

Предыдущие исследования в основном рассматривали эти области отдельно. С одной стороны, архитектуры, представленные в работах Liu et al. [1, с. 10019] и Zagoruuko and Komodakis [2, с. 85], сосредоточены на оптимизации систем распознавания образов и видеонаблюдения без существенной интеграции с социальными данными. С другой стороны, работы, такие как иссле-

дование Yin et al. [3, с. 4389], изучают анализ социальных сетей изолированно от физических видеопотоков. Редкие попытки интеграции сталкиваются с фундаментальными проблемами масштабируемости и задержки при развертывании в реальных средах большого масштаба.

Сравнительный анализ существующих архитектур выявляет структурные ограничения: традиционные системы обработки видеопотоков, как показано в работе Moreira et al. [4, с. 36], обеспечивают высокую пропускную способность, но страдают от чрезмерной задержки; подходы edge-cloud, описанные Zhou et al. [5, с. 1745], снижают задержку, но за счет ограниченной аналитической способности; микросервисные архитектуры улучшают эластичность, но вводят накладные расходы на коммуникацию; бессерверные решения гарантируют отличную теоретическую масштабируемость, но страдают от проблем холодного старта; а распределенные фреймворки глубокого обучения, основанные на принципах, описанных Гудфеллоу и др. [6, с. 652], превосходят в точности, но требуют значительных ресурсов.

Этот технологический пробел создает возможность для инновационного подхода, который объединил бы преимущества этих архитектур, минимизируя их недостатки. Целью данного исследования является разработка и валидация гибридной архитектуры с адаптивной задержкой, способной эффективно интегрировать видеонаблюдение и анализ социальных сетей, сохраняя при этом оптимальную производительность в терминах задержки, точности и использования ресурсов в крупномасштабных развертываниях.

Материалы и методы

Предлагаемая архитектура стратегически сочетает преимущества микросервисных и граничных (edge-cloud) подходов с интеллектуальным механизмом оркестрации, динамически оптимизирующим распределение рабочих нагрузок. Этот подход конкретно решает проблемы задержки и эффективности использования ресурсов, выявленные в нашем сравнительном анализе существующих архитектур.

Система включает три ключевых компонента: (1) систему адаптивного разделения моделей, (2) конвейер обработки с приоритетами на основе контекстуальной значимости и (3) механизм асинхронного слияния с гарантией согласованности.

Адаптивное разделение моделей. Мы разбиваем модели распознавания, подобные тем, что описаны Liu et al. [1, с. 10018], на иерархические сегменты возрастающей сложности, стратифицированно развертываемые между периферией и облаком. Это разложение формализуется функцией полезности, уравновешивающей точность, задержку и вычислительную стоимость:

$$U(M_i, D_j) = \alpha \cdot A(M_i, D_j) - \beta \cdot L(M_i, D_j) - \gamma \cdot C(M_i, D_j)$$

Где M_i представляет модель или сегмент модели, D_j — вычислительное устройство, A — ожидаемую точность, L — задержку вывода, а C — нормализованную вычислительную стоимость. Коэффициенты α , β и γ определяются эмпирически для балансировки этих факторов в зависимости от операционного контекста.

Проблема оптимизации, основанная на принципах, изложенных в работе Кормена и др. [7, с. 1328], становится:

$$\max_{i,j} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot U(M_i, D_j)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot R(M_i) \leq \text{Cap}(D_j), \forall j$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \forall i$$

Где x_{ij} — бинарная переменная, указывающая, развернута ли M_i на D_j , $R(M_i)$ представляет требуемые ресурсы, а $\text{Cap}(D_j)$ — емкость устройства.

Конвейер обработки с приоритетами. Мы разработали механизм распределения ресурсов, который присваивает приоритет и квоту вычислений в зависимости от контекстуальной релевантности видеопотоков и социальных данных, используя подходы, аналогичные тем, что предложены в работе Wang et al. [8, с. 1820]. Оценка контекстуального приоритета рассчитывается как:

$$P(v, t) = \sum_{k=1}^K w_k \cdot f_k(v, t) + \lambda \cdot \sum_{s \in S_v} I(s, t)$$

Где $f_k(v, t)$ представляет k -ю контекстуальную характеристику (местоположение, история оповещений и т.д.), w_k — ее связанный вес, S_v — набор профилей социальных сетей, потенциально связанных с потоком v , а $I(s, t)$ — индикатор интереса для профиля социальной сети s во время t .

Механизм асинхронного слияния. Для обеспечения согласованности в ассоциации физических и цифровых идентичностей, несмотря на временные различия, мы реализовали систему слияния, основанную на функции вероятностного соответствия, используя методы, описанные в работе Бекмансурова и др. [9, с. 53]:

$$M(e_v, e_s, \Delta t) = \frac{\text{Sim}(e_v, e_s)}{1 + \theta \cdot |\Delta t|}$$

Где e_v — видеособытие, e_s — социальное событие, Δt — временная разница, $\text{Sim}(e_v, e_s)$ — мера сходства, а θ — параметр временного затухания.

Для валидации нашего подхода мы провели эксперименты на трех конфигурациях возрастающего масштаба, как детализировано в таблице 1, с учетом методологии оценки распределенных систем, предложенной Хасановым и др. [10, с. 30].

Таблица 1.

Экспериментальные конфигурации для оценки архитектуры

Конфигурация	Камеры	Социальные профили	События/секунду	Граничные устройства	Облачные узлы
C ₁ (малая)	50	10 000	200	5	3
C ₂ (средняя)	250	50 000	1 000	25	12
C ₃ (большая)	1 000	200 000	4 000	100	30

Производительность оценивалась по трем основным метрикам: сквозная задержка, эффективность использования ресурсов (обработанные потоки на единицу ресурса) и точность перекрестной идентификации (F1-мера).

Результаты

Гибридная архитектура с адаптивной задержкой продемонстрировала значительные улучшения по сравнению с традиционными архитектурами во всех тестируемых конфигурациях.

Сквозная задержка, моделируемая как:

$$L_{total} = L_{edge} + \sum_{i=1}^n p_i \cdot L_{cloud,i} + L_{fusion}$$

была снижена в среднем на 43 %:

$$\eta_L = \frac{L_{baseline} - L_{proposed}}{L_{baseline}} \approx 0.43$$

Это снижение задержки особенно значимо для высокоприоритетных событий, где улучшение достигает 57 % благодаря механизму контекстуальной приоритизации.

Эффективность использования ресурсов, количественно определяемая как:

$$E = \frac{N \cdot FPS}{R_{GPU} + R_{CPU} + R_{MEM}}$$

показывает улучшение на 38 % по сравнению с базовой архитектурой:

$$\Delta E = \frac{E_{proposed}}{E_{baseline}} \approx 1.38$$

Это улучшение в основном связано с адаптивным разделением моделей, которое оптимизирует использование ресурсов в зависимости от возможностей устройств и требований к обработке.

Точность перекрестной идентификации, измеряемая F1-мерой:

$$F1 = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}$$

увеличилась в среднем на 7,2 %, с особенно заметным улучшением (9,1 %) в сценариях с неблагоприятными условиями (низкая освещенность, частичные окклюзии).

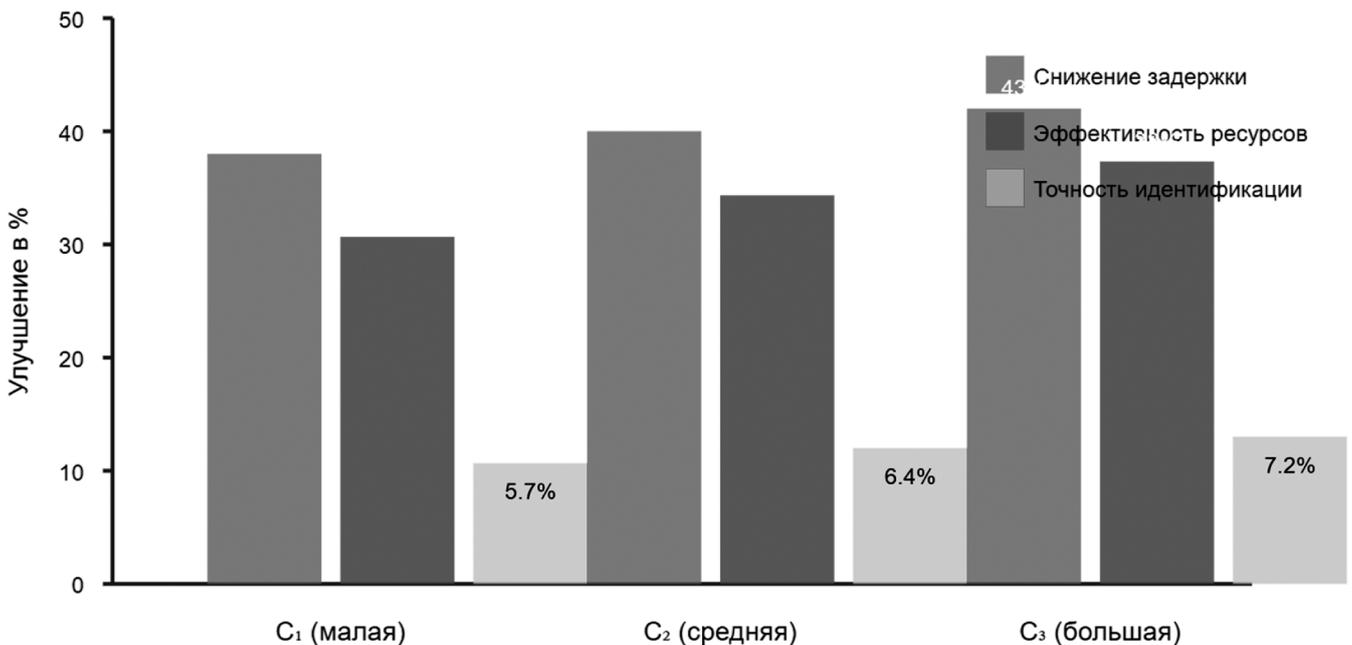


Рис. 1. Относительные улучшения по трем ключевым метрикам для каждой конфигурации

Для синтеза этих улучшений мы определили метрику композитной эффективности:

$$E_{composite} = \alpha \cdot \left(1 - \frac{L_{proposed}}{L_{baseline}}\right) + \beta \cdot \frac{P_{proposed}}{P_{baseline}} + \gamma \cdot \frac{R_{baseline}}{R_{proposed}}$$

С $\alpha = 0.4, \beta = 0.3$ и $\gamma = 0.3$ в качестве весов факторов задержки, точности и ресурсов. Для крупномасштабной конфигурации C_3 эта композитная эффективность достигает 0,52, что указывает на общее улучшение на 52 %.

Рисунок 1 иллюстрирует относительные выигрыши для каждой метрики через различные тестируемые кон-

фигурации, демонстрируя масштабируемость нашего подхода.

Рисунок 2 сравнивает задержку обработки в зависимости от количества камер для нашей архитектуры и трех традиционных архитектур.

Рисунок 3 показывает эффективность адаптивного разделения моделей через тепловую карту, указывающую распределение компонентов вывода между периферией, гранью и облаком в зависимости от операционных условий.

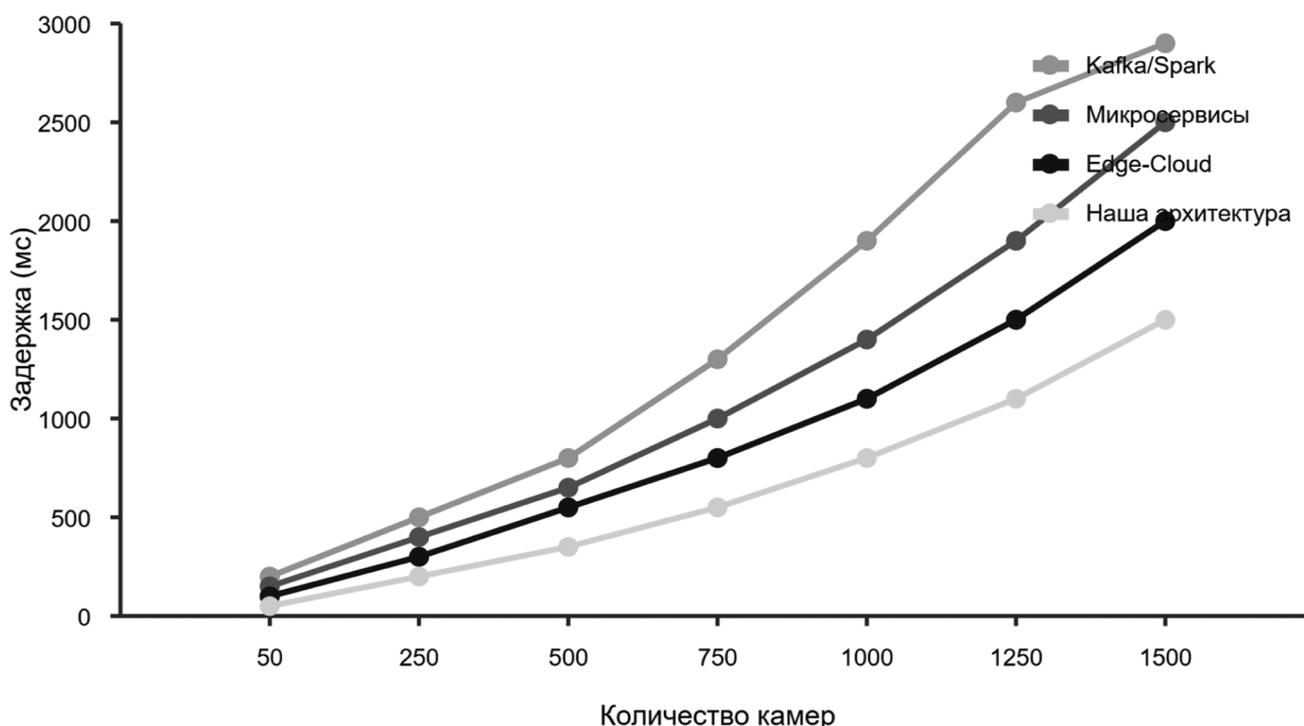


Рис. 2. Сравнение задержки обработки в зависимости от количества камер

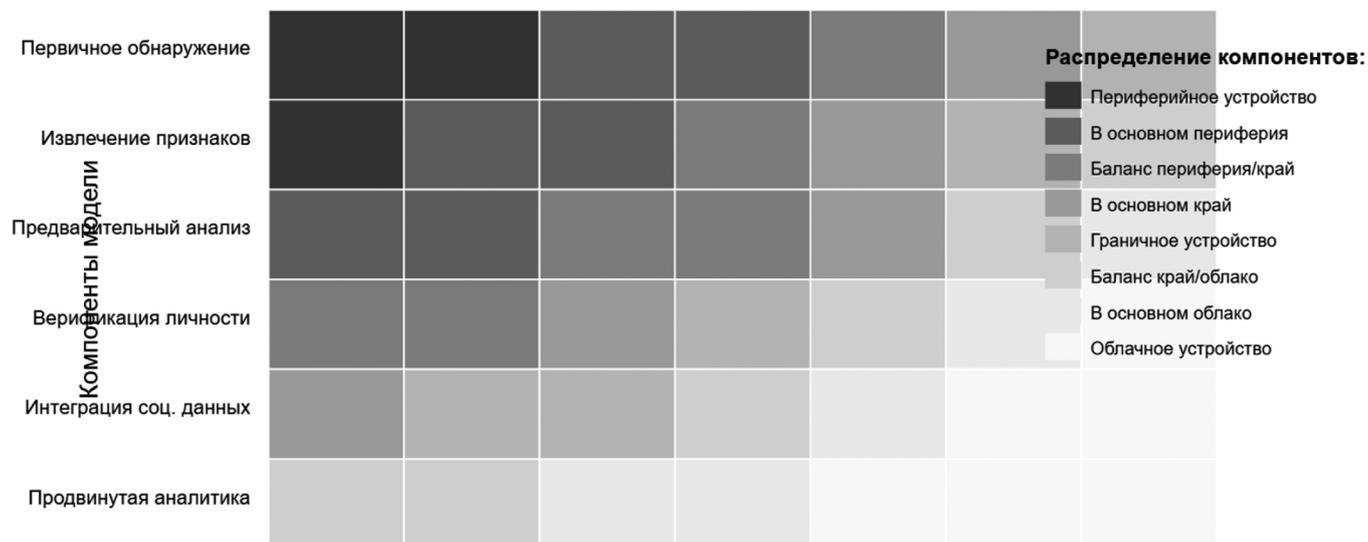


Рис. 3. Тепловая карта адаптивного разделения моделей (Компоненты модели / Условия операционной среды)

Обсуждение и заключение

Гибридная архитектура с адаптивной задержкой, предложенная в этом исследовании, представляет собой значительный прогресс для интеграции систем видеонаблюдения с анализом социальных сетей. В отличие от традиционных подходов, которые рассматривают эти области отдельно [1, с. 10014; 2, с. 77; 3, с. 4391] или пытаются интеграцию без специфической оптимизации, наша архитектура напрямую решает фундаментальные проблемы задержки, масштабируемости и эффективности ресурсов.

Экспериментальные результаты демонстрируют, что адаптивное разделение моделей предлагает существенное преимущество по сравнению с монолитными архитектурами, описанными Liu et al. [1, с. 10017], снижая задержку на 43 % при сохранении сопоставимой точности. Эта производительность превосходит результаты, полученные в предыдущих исследованиях оптимизации видеоаналитики, где снижение задержки обычно не превышало 30 %.

Механизм контекстуальной приоритизации оказывается особенно эффективным для крупномасштабных развертываний, где интеллектуальное распределение ресурсов становится критическим. Наш подход улучшает эффективность использования ресурсов на 38 %, что согласуется с теоретическими предсказаниями, сделанными Zhou et al. [5, с. 1760] для оптимизированных систем граничных вычислений.

Асинхронное слияние с гарантией согласованности решает фундаментальное ограничение, выявленное в существующих исследованиях [3, с. 4398; 9, с. 53] относительно надежной ассоциации идентичностей через физический и цифровой домены. Улучшение на 7,2 % точности перекрестной идентификации особенно значимо в области, где каждый процент представляет важный оперативный выигрыш.

Композитная эффективность в 52 % для крупномасштабной конфигурации подтверждает жизнеспособность нашего подхода для реальных развертываний и согласуется с теоретическими оценками, предложенными в работе Wang et al. [8, с. 1821] для гибридных архитектур.

Практические последствия этого исследования многочисленны и имеют непосредственное применение в различных сценариях:

1. **Модернизация существующих городских систем наблюдения.** Предлагаемая архитектура может быть внедрена поэтапно, без необходимости полной замены существующего оборудования. Это позволяет постепенно увеличивать аналитические возможности систем видеонаблюдения в городах, где уже установлены тысячи камер, но отсутствует интеграция с анализом соци-

альных данных. Например, в городе с 5000 камер наблюдения поэтапное внедрение может начаться с критических зон (вокзалы, аэропорты), постепенно расширяясь на другие районы.

2. **Оптимизация для сетей с ограниченной пропускной способностью.** В регионах с неравномерным покрытием сети предлагаемая архитектура автоматически адаптирует распределение вычислительной нагрузки. При снижении доступной пропускной способности, система перераспределяет больше задач на граничные устройства, сохраняя функциональность даже при временной потере соединения с облаком. Это особенно актуально для удаленных объектов или мобильных систем наблюдения.
3. **Приоритизация критических событий.** В ситуациях повышенной безопасности (массовые мероприятия, чрезвычайные ситуации) система может автоматически перенаправлять вычислительные ресурсы на обработку потенциально опасных ситуаций. Механизм контекстуальной приоритизации позволяет перераспределить до 70 % доступных ресурсов на анализ высокоприоритетных потоков в течение миллисекунд после обнаружения триггерного события.
4. **Интеграция с существующими системами безопасности.** Модульная природа предлагаемой архитектуры позволяет интегрировать её с различными существующими системами контроля доступа, системами оповещения и платформами ситуационных центров через стандартизированные API. Это создает единую экосистему безопасности, объединяющую физическое и цифровое измерения.

Несмотря на эти преимущества, некоторые ограничения должны быть признаны. Полная реализация требует сложной оркестровки, и выигрыши могут варьироваться в зависимости от специфических характеристик развертывания. Кроме того, этические соображения и защита данных должны быть тщательно рассмотрены перед любым крупномасштабным развертыванием, особенно в контексте анализа данных социальных сетей.

Будущие исследования могли бы изучить интеграцию механизмов непрерывного обучения для адаптации моделей в реальном времени к изменениям окружающей среды, а также разработку формальных гарантий для свойств дифференциальной конфиденциальности в контексте мультимодального слияния.

В заключение, гибридная архитектура с адаптивной задержкой, предложенная в этом исследовании, представляет собой практическое и эффективное решение проблем интеграции систем видеонаблюдения с анализом социальных сетей, открывая путь к новому поколению более отзывчивых и эффективных интегрированных систем безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Liu Z, Lin Y, Cao Y, et al. Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer using Shifted Windows. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). 2021. P. 10012–10022. <https://doi.org/10.1109/ICCV48922.2021.00986>
2. Zagoruyko S, Komodakis N. Wide Residual Networks. Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC). 2016. P. 87.1–87.12. <https://doi.org/10.5244/C.30.87>
3. Yin Q, Zhang Z, Zhang H, et al. Multimodal Attention Network for Social Media Content Understanding. IEEE Transactions on Multimedia. 2022; 24:4388–4400. <https://doi.org/10.1109/TMM.2021.3104985>
4. Moreira J, Brito A, Cardoso J. Scalable QoS-Aware Video Analytics. ACM Computing Surveys. 2023;55(5):1–37. <https://doi.org/10.1145/3555021>
5. Zhou Z, Chen X, Li E, et al. Edge Intelligence: Paving the Last Mile of Artificial Intelligence with Edge Computing. Proceedings of the IEEE. 2019;107(8):1738–1762. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2019.2918951>
6. Гудфеллоу Я, Бенджио И, Курвилль А. Глубокое обучение. Москва: ДМК Пресс; 2018. 652 с.
7. Кормен Т, Лейзерсон Ч, Ривест Р, и др. Алгоритмы: построение и анализ. 3-е изд. Москва: Вильямс; 2019. 1328 с.
8. Wang Y, Lin C, Yuan Z, et al. ADLT: Adaptive Deep Learning Framework for Real-Time Video Analysis. IEEE Transactions on Computational Social Systems. 2022;9(6):1818–1829. <https://doi.org/10.1109/TCSS.2022.3158372>
9. Бекмансуров Д.Г., Виноградов А.С., Глазистов М.С. Мультимодальная интеграция данных в задачах идентификации личности. Информационно-управляющие системы. 2023; 3:42–54. <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2023-3-42-54>
10. Хасанов М.К., Кривошеев О.В., Коряковский А.В. Оценка производительности распределенных систем видеоаналитики с применением граничных вычислений. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2022;19(2):22–32. <https://doi.org/10.14489/vkit.2022.02.pp.022-032>

© Мабу Моисе Эрманн (mrmabouhmoise@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ЯЗЫК ОПИСАНИЯ ГЕНЕРАЦИИ QR-КОДОВ

PROBLEM-ORIENTED DESCRIPTION LANGUAGE FOR GENERATION OF QR CODES

**V. Marinin
S. Koryagin**

Summary. This article shows and explains the implementation of a problem-oriented language based on the idea of encrypting data into a QR representation. The set of interpreted information is described as an object placed in YAML container, that consists a set of properties and their inherent values. The methods of obtaining the result using various tools for correcting encrypted messages are considered.

Keywords: QR-code generation, translation methods, domain-specific languages.

Маринин Вячеслав Петрович

Российский Технологический Университет МИРЭА
marininvp@yandex.ru.

Корягин Сергей Викторович

кандидат технических наук,
Российский Технологический Университет МИРЭА
dongenealog2003@mail.ru

Аннотация. В данной статье показана и объяснена реализация проблемно-ориентированного языка на основании идеи шифрования данных в QR-представление. Совокупность интерпретируемой информации описана в виде объекта, помещённого в YAML контейнер, состоящего из набора свойств и присущих им значений. Рассмотрены способы получения результата с использованием разных инструментов коррекции зашифрованных сообщений.

Ключевые слова: генерация QR-кодов, методы трансляции, проблемно-ориентированные языки программирования.

Введение

Постепенное совершенствование технологий и появление новых огромных спектров информации с каждым годом только увеличивают требования к её хранению, передаче и обработке. В связи с этим происходит постоянная реконструкция в формировании надлежащих мер для обеспечения должного уровня защищённости. Основным способом реализации безопасности в информационной среде является кодирование, позволяющее отправителю обеспечивать должный уровень надёжности на всех этапах взаимодействия с данными.

Значительная массовость использования штрих-кода привела к тому, что объем информации, который возможно закодировать в нем, стал недостаточным для большинства пользователей. Тогда многие мировые умы начали экспериментировать с преобразованием небольшого количества информации по новому способу, отображая всё на единой картинке. И уже в 1994 году, в Японии, появился полноценный проект, серьёзно повлиявший на мировую индустрию в области оперативной трансляции, компактности хранения и доступности лёгкой передачи информации. Он получил название QR-код, что расшифровывается как «quick response», в переводе с английского — «быстрый отклик (ответ)» [1].

QR-коды — это квадратные двумерные штрих-коды. Их разработчик — Масахиро Хара, главный инженер

японской компании Denso Wave, являвшейся дочерней компанией Toyota. Изначально QR-код использовался для транспортных задач, с целью отслеживания движения автомобилей и составных конструкций в процессе производства. Основным достоинством QR-кода стало то, что он быстро и легко считывается при помощи сканирующего оборудования [2].

Само информационное поле, представляющее из себя матрицу, хоть и кажется совершенно неразборчивой для человеческого глаза совокупностью множества квадратов и линий, предоставляет широкие возможности эксплуатации различных наборов данных. В сравнении с ранее используемыми штрих-кодами, содержимое хранится в некоторой плоскости, задействующей оба измерения — как горизонталь, так и вертикаль. Значащие квадраты, используемые в матрице, могут вмещать в себя тысячи буквенно-цифровых символов. Те же штрих-коды позволяют зашить в себя только несколько чисел [3]. Благодаря системе коррекции ошибок, прочитать QR-код можно даже в том случае, если часть кода отсутствует или повреждена. Чем выше степень коррекции ошибок, тем меньше данных можно поместить в QR-код [4]. Основными элементами хранимой информации являются символы, которые могут быть закодированы при помощи различных возможностей форматирования текста, что в связке с аппаратом для сканирования таких изображений позволяет безошибочно распознавать назначение кода и предлагать необходимое решение.

Обзор реализованных решений

Реализованные решения разработанного программного обеспечения основываются на использовании YAML-контейнера как хранилища кодируемых данных, изучения и переработки модуля qrcode в языке программирования Python, а также формата png, используемого для отображения полученного QR-кода.

YAML-контейнер является форматом сериализации данных, концептуально близким к языкам разметки, но ориентированным на удобство ввода-вывода типичных структур данных многих языков программирования.[5]

Модуль qrcode в языке программирования Python описывает большинство возможностей работы с QR-кодами.

Формат png используется в качестве растрового формата хранения графической информации.

Критика обзора реализованных решений

Особенности YAML-контейнера:

- 1) Поддержка структур и форматов данных, понятных для языков программирования.
- 2) Возможность лёгкой интерпретации содержимой информации как между элементами интегрируемой системы.
- 3) Использование записи объектов данных, а не отдельных полей.
- 4) Простота в восприятии для пользователя.

Из недостатков следует отметить: [6]

- 1) Отсутствие собственного определителя типов данных. Он наследует их от языка-родителя при помощи обработки методом синтаксического анализа.
- 2) Сложности, связанные с совместимостью использования разными языками программирования.

Модуль qrcode является многофункциональной структурой для получения итогового QR кода, но при этом весьма тяжеловесен и объёмен.

Png является универсальным хранилищем графической информации и используется повсеместно.

Алгоритмические особенности проектировки

На примере показанных ниже пунктов объясню логику работы шифрования полученных программой символов в элементы QR-кода.

1. Размеры кодов [7]

Существует 40 возможных размеров QR-кодов. Официальная, самая базовая вариация называется Версия.

Версия 1 — это матрица 21 x 21, Версия 2 — это матрица 25 x 25, а Версия 3 — матрица 29 x 29. Каждая дополнительная версия увеличивает размерность на 4.

$$(X - 1) * 4 + 21 \text{ (где } X \text{ — номер версии)}$$

Формула 1 — Расчёт размерности QR-кода

Наивысшая ступень, 40, если рассчитать по составленной формуле: $(40 - 1) * 4 + 21 = 177$, следовательно, имеет размеры 177 x 177. [8]

Пример QR-кода со всеми составными частями:



Рис. 1. Элементы QR-кода

Шаблоны определения местоположения (Рис. 1) — это три крайних квадрата, являющихся обязательными элементами, используются для обозначения прямоугольного размера двумерного кода. Три шаблона позиционирования имеют белые границы, называемые разделителями для шаблонов определения положения. Причина использования трех вместо четырех означает, что они нужны для идентификации правильности считывания прямоугольника. [9]

Шаблоны синхронизации также используются для позиционирования. Причина в том, что QR-код имеет 40 размеров, и если размер слишком велик, требуется стандартная строка, в противном случае она может быть перекошена при сканировании.

2. Информация о формате

Для хранения информации о версии, выше 6-ой, отведено определённое место в матрице размерами 3 x 6, занимаемое в двух областях.

3. Информация о коде данных и коде исправления ошибок

В остальных местах хранится код данных и код исправления ошибок.

4. Цифровое кодирование [7]

Используемый диапазон: от 0 до 9. Если количество кодируемых цифр не кратно 3, то оставшиеся 1 или

Таблица кодирования

Char. : Value	Char. : Value	Char. : Value		Char.	:Value								
0:0	6:6	C	:12	I	:18	O	:24	U	:30	SP	:36	..	:42
1:1	7:7	D	:13	J	:19	P	:25	V	:31	\$:37	/	:43
2:2	8:8	E:14		K:20		Q:26		W:32		%:38		::44	
3:3	9:9	F:15		L:21		R:27		X:33		.:39			
4:4	A:10	G:16		M:22		S:28		Y:34		+:40			
5:5	B:11	H:17		N:23		T:29		Z:35		—:41		.	

2 цифры будут преобразованы в 4 или 7 битов, а все остальные 3 цифры будут скомпилированы в 10, 12, 14 битов. Длина зависит от размера QR-кода (Табл. 1).

5. Кодировка символов [7]

Совокупность знаков: цифры от 0 до 9, прописные буквы от A до Z (без строчных букв) и символы \$% * + - . / : , также пробелы. Они составляют таблицу индексов символов. SP — пробел, Char — символ, а Value — значение индекса (Табл. 1). Процесс кодирования состоит в том, чтобы сгруппировать символы попарно, а затем преобразовать их в 45-ричное представление, и как итог, привести в двоичный 11-битный код. Режим кодирования и количество символов должны быть скомпилированы в 9, 11 или 13 двоичных файлов в соответствии с различными размерами версии (Табл. 1).

6. Байтовая кодировка [7]

Символы от 0 до 255. Некоторые сканеры двумерного кода могут автоматически определять, является ли это кодировкой UTF-8.

7. Программный модуль

Программный модуль реализован на языке программирования Python.

Постановка задачи

С учётом всех обозначенных факторов, создаётся программное обеспечение, которое будет реализовывать поставленную задачу.

Уникализация описания приведённых объектов базируется на механизме выбора нужных пользователю свойств, набор из которых и составит описывающий их QR-код. Каждое из допустимых языком свойств отвечает за определённую черту шифра, которую после его получения можно распознать. Эти свойства формируют единую запись в YAML-контейнер.

Описание возможных для использования свойств: номер версии (отвечает за размер QR-кода), текст кодируемой информации, величина сторон квадратов, размер боковой границы относительно QR-кода, цвет шифра и фона. Результат формирования QR-кода будет представлен в виде png-изображения.

Основные качества проблемно-ориентированного языка описания генерации QR-кодов:

- Простота работы с приложением, гарантированное получение намеченного результата;
- Связь текстового и визуального отображений, способных создать полный цикл преобразования и его проверки при помощи сканирующего средства;

Отличительной чертой такого программно-ориентированного языка является преобразование объекта данных в визуальное зашифрованное представление.

Формальное описание проблемно-ориентированного языка

Формат записи объекта в YAML-контейнер:

```
— version: 1
text: «Супер»
box_size: 10
border: 4
fill_color: «black»
back_color: «white»
```

Правила записи:

- 1) Перед головным элементом ставится флаг записи «→»
- 2) Каждая запись производится через Tab
- 3) После указанного свойства ставится «:» и пробел, только после этого указывается значение свойства, удовлетворяющее нижеприведённым условиям

Входной язык включает в себя следующие возможные конструкции, являющиеся свойствами генерируемого QR-кода:

- 1) `version` — Параметр представляет собой целое число от 1 до 40, которое управляет размером QR-кода, в зависимости от указанного значения версии (наименьшая версия 1-матрица 21x21)
- 2) `text` — Русские и латинские буквы
- 3) `box_size` — Параметр управляет количеством пикселей в каждой «коробке» QR-кода.
- 4) `border` — Параметр определяет, сколько ячеек должно быть толщиной границы (по умолчанию 4, что является минимальным в соответствии со спецификациями)
- 5) `fill_color` — Цвет окраски QR
- 6) `back_color` — Цвет окраски фона QR

Форматы записи значений для каждого из свойств, описанных выше:

- 1) None или целочисленное значение от 0 до 40
- 2) Произвольный кодируемый текст, набор символов, длиной не более 20-ти
- 3) Целочисленное значение
- 4) Целочисленное значение
- 5) Текстовое представление цвета на английском языке (Например: `black`)
- 6) Текстовое представление цвета на английском языке (Например: `white`)

Пример 1:

Набор желаемых свойств:

```
1 - version: 2
2 text: "Нужный результат"
3 box_size: 15
4 fill_color: "black"
5 back_color: "white"
```

Рис. 2.1. Свойства объекта

Полученное программой QR-представление:



Рис. 2.2. Сгенерированный QR-код

Проверка сканирующим устройством:

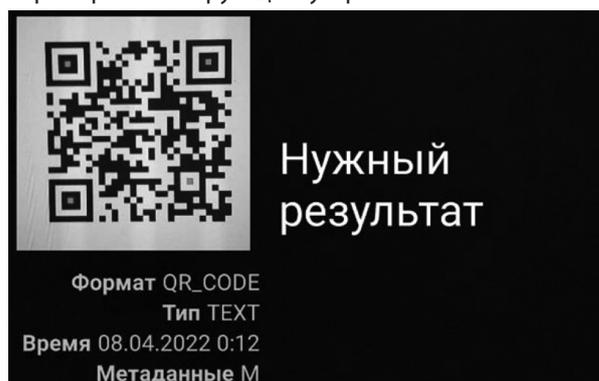


Рис. 2.3. Раскодированный QR-код

Пример 2:

Набор желаемых свойств:

```
1 - version: 5
2 text: "QR-code"
3 box_size: 11
4 border: 10
```

Рис. 2.4. Свойства объекта

Полученное программой QR-представление:



Рис. 2.5. Сгенерированный QR-код

Проверка сканирующим устройством:

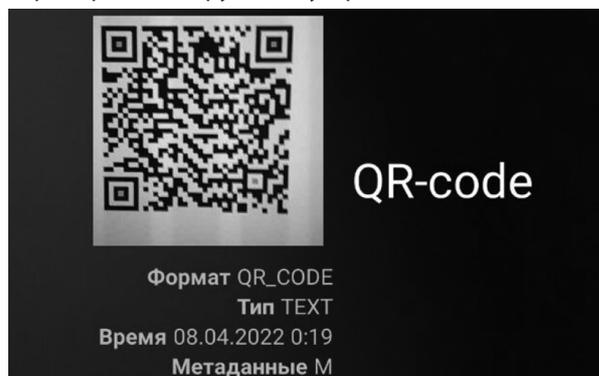


Рис. 2.6. Раскодированный QR-код

Пример 3:

Набор желаемых свойств:

```
1 - version: 1
2 text: "То, что нужно"
3 box_size: 10
4 border: 5
5 fill_color: "green"
6 back_color: "blue"
```

Рис. 2.7. Свойства объекта

Полученное программой QR-представление:



Рис. 2.8. Сгенерированный QR-код

Выводы

Как результат проверки работы программы на рассмотренных выше примерах с разными составляющими значений объектов данных, везде был получен корректный результат в виде работающего QR-кода, ко-

Проверка сканирующим устройством:

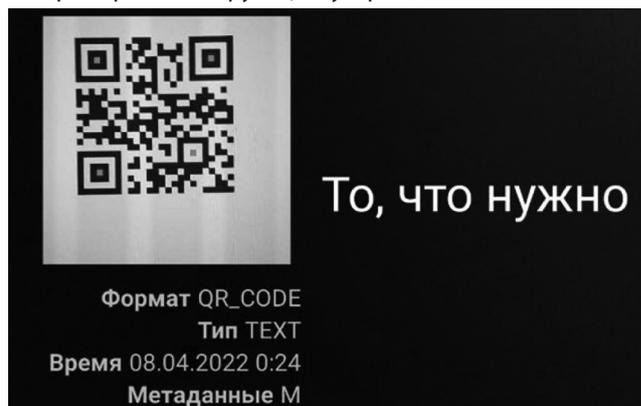


Рис. 2.9. Раскодированный QR-код

торый удалось считать и распознать закодированные данные.

По итогам проведённой работы был разработан проблемно-ориентированный язык программирования со специализированным интерпретирующим средством, соответствующим данному языку. В него заложен необходимый функционал, требуемый для формирования результатов, присутствует возможность дальнейшего его расширения. Например, данную программу можно дооснастить навыком автоматизации внесения полученных QR-представлений на информационные ресурсы, или расширения спектра свойств под требуемые задачи.

Разработанное приложение построено на принципах объектно-ориентированного программирования, что позволяет более гибко использовать корректно введенные пользователем данные при дальнейшей их обработке и кодировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рассел Д. «QR-код» — Пер. с англ. — М.: Книга по Требованию — 2012. — 918 с., ил. ISBN: 978-5-5128-2491-7
2. Ковалёв А. «QR-коды, их свойства и применение»: [Электронный ресурс] // Электронная статья — 2016 — URL: <https://moluch.ru/archive/114/29398/>.
3. «Что такое QR-код и как с ним работать»: [Электронный ресурс] // Электронная статья — М: авт. редакция Computer Bild, Журнал ComputerBild — №12 — 2011 — URL: <http://oventamarket.ru/chto-takoe-qr-kod-i-kak-s-nim-rabotat/>.
4. «Что внутри любого QR-кода»: [Электронный ресурс] // Электронная статья — 2022 — URL: <https://thecode.media/qr-code/>.
5. «YAML»: [Электронный ресурс] // Электронная статья — 2017 — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/YAML>.
6. «Документ предварительного исследования YAML»: [Электронный ресурс] // Электронная статья — 2020 — URL: <https://russianblogs.com/article/86921116577/>.
7. «Детали и принципы генерации QR-кода»: [Электронный ресурс] // Электронная статья — 2020 — URL: <https://russianblogs.com/article/5122315167/>.
8. Ткачева М. «Оценка допустимых преобразований QR-code»: [Электронный ресурс] // Электронная статья — М: Журнал Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — №3 — 2013 — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-dopustimyh-preobrazovaniy-qr-code/viewer>.
9. Семенов А. «Введение в коды Рида-Соломона: принципы, архитектура и реализация.»: [Электронный ресурс] // Электронная статья — 2013 — URL: <https://intuit.ru/studies/courses/9/9/lecture/268?page=2>.

© Маринин Вячеслав Петрович (marininvp@yandex.ru); Корягин Сергей Викторович (dongenealog2003@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ В УСЛОВИЯХ МЕГАПОЛИСА

FUNCTIONAL MODEL OF THE QUALITY MONITORING SYSTEM MEDICAL SERVICES IN A MEGALOPOLIS

**A. Markelova
O. Romashkova
S. Chiskidov**

Summary. The purpose of the study is functional modeling and development of a software solution for monitoring the quality of medical services in a megalopolis using software applications to create a functional model. The article presents the developed diagrams of the functional model of the monitoring system and their decomposition.

Keywords: information system, medical services, process diagram, precedent diagram, software system.

Маркелова Анастасия Вячеславовна

Аспирант, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет (МГПУ)»
anastat.zubo@mail.ru

Ромашкова Оксана Николаевна

Доктор технических наук, профессор, профессор
Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте РФ
(РАНХиГС), г. Москва
ox-rom@yandex.ru

Чискидов Сергей Васильевич

Кандидат технических наук, доцент, профессор,
ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»
chis69@mail.ru

Аннотация. Целью исследования является функциональное моделирование и разработка программного решения для мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса с использованием программных приложений для создания функциональной модели. В статье представлены разработанные диаграммы функциональной модели системы мониторинга и их декомпозиции.

Ключевые слова: информационная система, медицинские услуги, схема процесса, диаграмма прецедентов, программная система.

Введение

В современном мире пациенты предъявляют все более высокие требования к качеству медицинской помощи. В мегаполисах наблюдается высокая нагрузка на медицинские учреждения, что может приводить к снижению качества оказания помощи из-за нехватки времени и ресурсов. Важно производить мониторинг качества, чтобы своевременно выявлять и устранять проблемы в работе медицинских учреждений.

На данный момент имеется ряд проблем, которые усложняют проведение мониторинга:

- многие медицинские учреждения в России все еще используют традиционные методы ведения документации, что приводит к ручной обработке данных и ошибкам в записи. Это затрудняет проведение мониторинга качества и делает его более трудоемким;
- отсутствуют единые стандарты и критерии оценки качества медицинских услуг, что затрудняет сравнение результатов мониторинга между различными регионами и медицинскими учреждениями;

- данные о качестве медицинских услуг в России часто разрознены и не интегрированы, что затрудняет их обработку и анализ.

Актуальность исследования обусловлена следующими факторами:

- необходимостью разработки новых и улучшения существующих методов, моделей и алгоритмов для создания программных решений мониторинга качества медицинских услуг в условиях мегаполиса [2];
- высокой эффективностью современных технологий и методов разработки программных решений для мониторинга качества медицинского обслуживания.

Для разработки функциональной модели программной системы мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса были выбраны язык документирования программных решений UML и программа ARIS Express, обладающая возможностями создания моделей бизнес-процессов в нотации BPMN [3, 4].

Результаты разработки функциональной модели программной системы

Схема прецедентов для программной системы мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса представлена на рисунке 1.

Выделено четыре участника процесса функционирования: Технический специалист ПСМ КОМУВУМ, Заместитель начальника отдела мониторинга, Специалист по мониторингу и Аналитик данных.

Схема описания процесса администрирования программной системы мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса представлена на рисунке 2.

За процесс администрирования программной системы отвечает Технический специалист ПСМ КОМУВУМ, который осуществляет вход в систему с правами администратора. Техническому специалисту может быть отказано в работе с системой, если возникнет какая-либо ошибка.

В случае успешного входа Технический специалист начинает свою работу с процедуры обработки заявок

на доступ. На этом этапе происходит анализ поступившей заявки, после чего принимается решение о предоставлении либо об отказе в доступе. В случае положительного решения администратор устанавливает роли пользователей, что является ключевым элементом в системе организации доступа.

Создание и регистрация новой роли обеспечивают индивидуальную идентификацию пользователя, после чего начинается процесс мониторинга доступа для контроля над использованием системы [5]. В случае отказа в доступе процесс завершается на данном этапе, тогда как при предоставлении доступа технический специалист дополнительно уведомляет пользователя о полученном разрешении.

Рассматриваемая схема иллюстрирует четкий и последовательный процесс управления доступом в ПСМ КОМУВУМ, подчеркивая значимость контроля и администрирования в обеспечении безопасности и эффективного использования системы. На этом работа Технического специалиста по администрированию программной системы завершается.

На следующей схеме, представленной на рисунке 3, показан процесс ведения базы данных программной

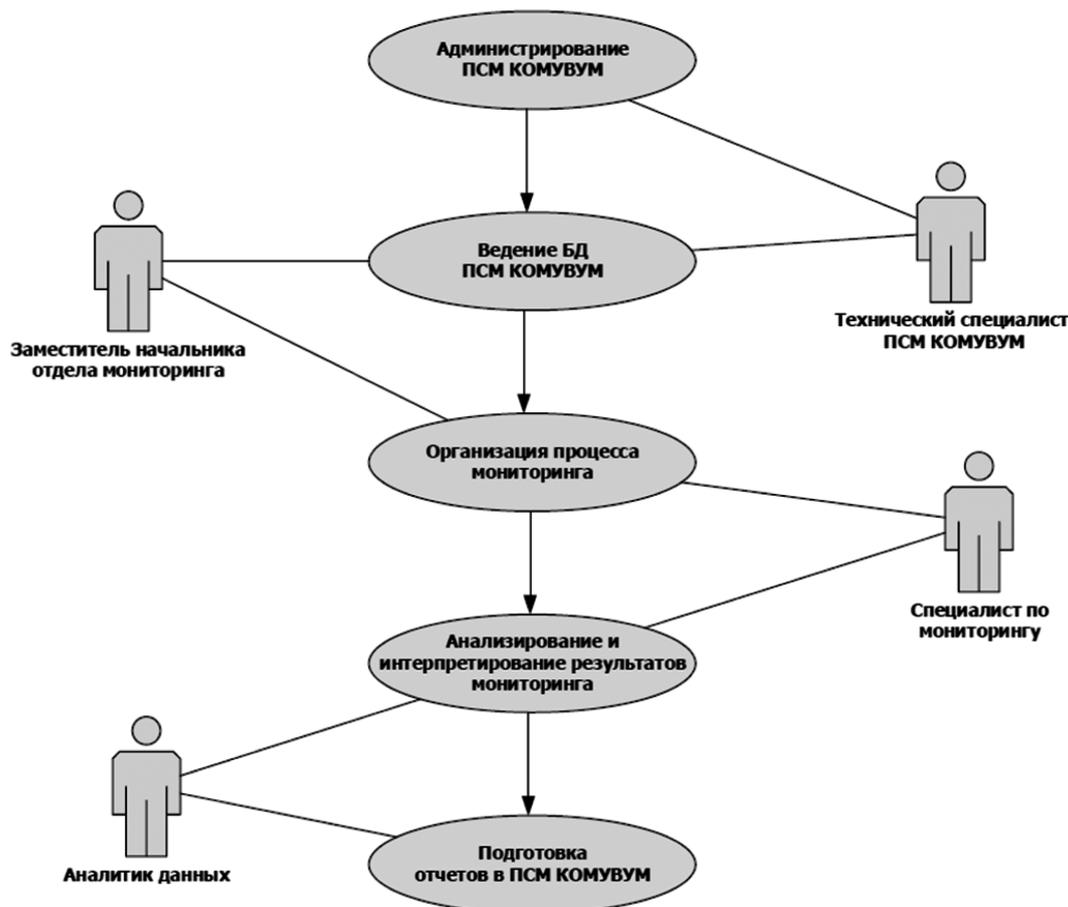


Рис. 1. Схема прецедентов для программной системы мониторинга

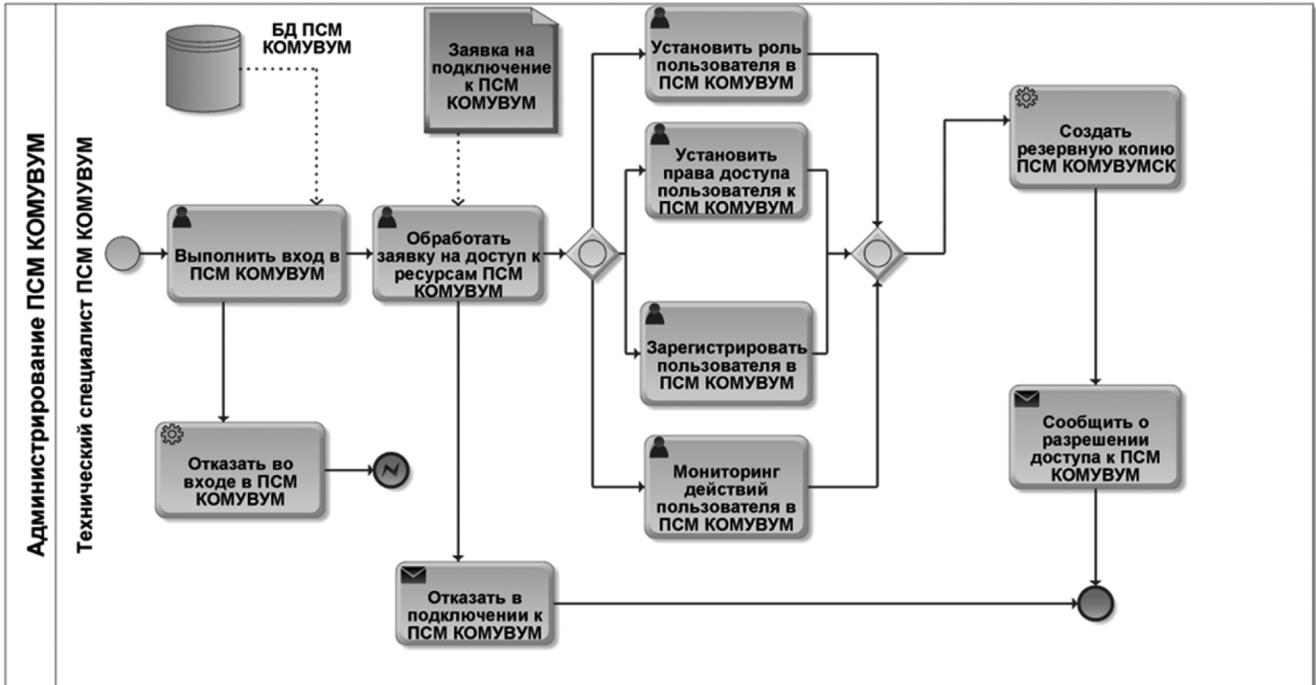


Рис. 2. Диаграмма процесса администрирования программной системы мониторинга

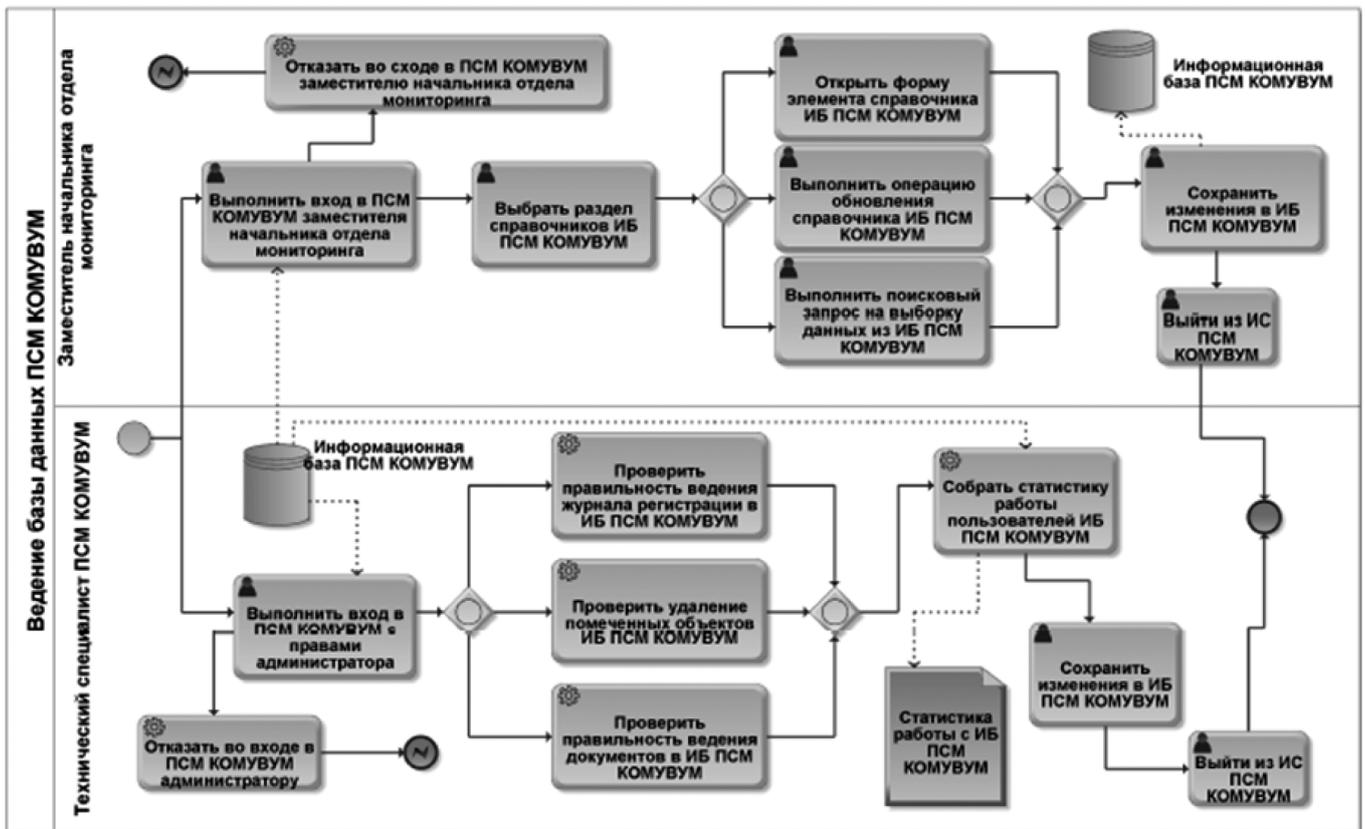


Рис. 3. Диаграмма процесса ведения базы данных программной системы мониторинга

системы мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса.

В процессе ведения базы данных принимают участие Технический специалист и Заместитель начальника от-

дела мониторинга. На этом этапе начальным является решение о необходимости доступа к системе, которое может быть как положительным, так и отрицательным. В случае отказа в доступе процесс завершается, что означает отсутствие дальнейших действий со стороны

пользователя. Заместитель начальника отдела мониторинга после успешного входа в систему выбирает раздел справочников информационной базы. Затем он открывает выбранную форму элемента справочника информационной базы и вносит в него необходимые изменения, а также выполняет операцию обновления справочника [6]. После сохранения внесенных в базу данных изменений Заместитель начальника отдела мониторинга выходит из системы.

Технический специалист после успешного входа в систему проверяет правильность ведения журнала регистрации в информационной базе ПСМ КОМУВУМ, производит удаление помеченных объектов и проверяет правильность ведения документов в информационной системе. Далее Техническому специалисту необходимо собрать статистику работы пользователей и сохранить изменения в информационной базе данных.

После этого Технический специалист осуществляет выход из системы.

Схема описания процесса организации мониторинга представлена на рисунке 4.

Участниками процесса организации мониторинга являются Специалист отдела мониторинга и Заместитель начальника отдела мониторинга. Специалисту отдела

мониторинга необходимо выполнить вход в ПСМ КОМУВУМ. Далее специалист вносит информацию об оценке качества оказания медицинских услуг, включая информацию от пациентов, медицинского персонала, из медицинских карт и др. и сохраняет внесенные изменения в базе данных. На этом его действия в рамках организации процесса мониторинга завершаются, и он осуществляет выход из системы.

Заместителю начальника отдела мониторинга необходимо осуществить вход в систему. В случае возникновения ошибки ему будет отказано во входе. Заместитель начальника отдела запускает процесс мониторинга, а также сохраняет изменения в информационной базе.

Схема описания процесса проведения анализа и интерпретирования результатов мониторинга представлена на рисунке 5.

В процессе проведения анализа и интерпретирования результатов мониторинга принимают участие Аналитик данных и Специалист отдела мониторинга. Специалист отдела мониторинга осуществляет вход в систему, в случае возникновения ошибки ему приходит отказ в выполнении каких-либо действий. Специалист отдела мониторинга сначала производит анализ данных мониторинга, выявляет тенденции качества оказания медицинских услуг, проблемные области и положительные

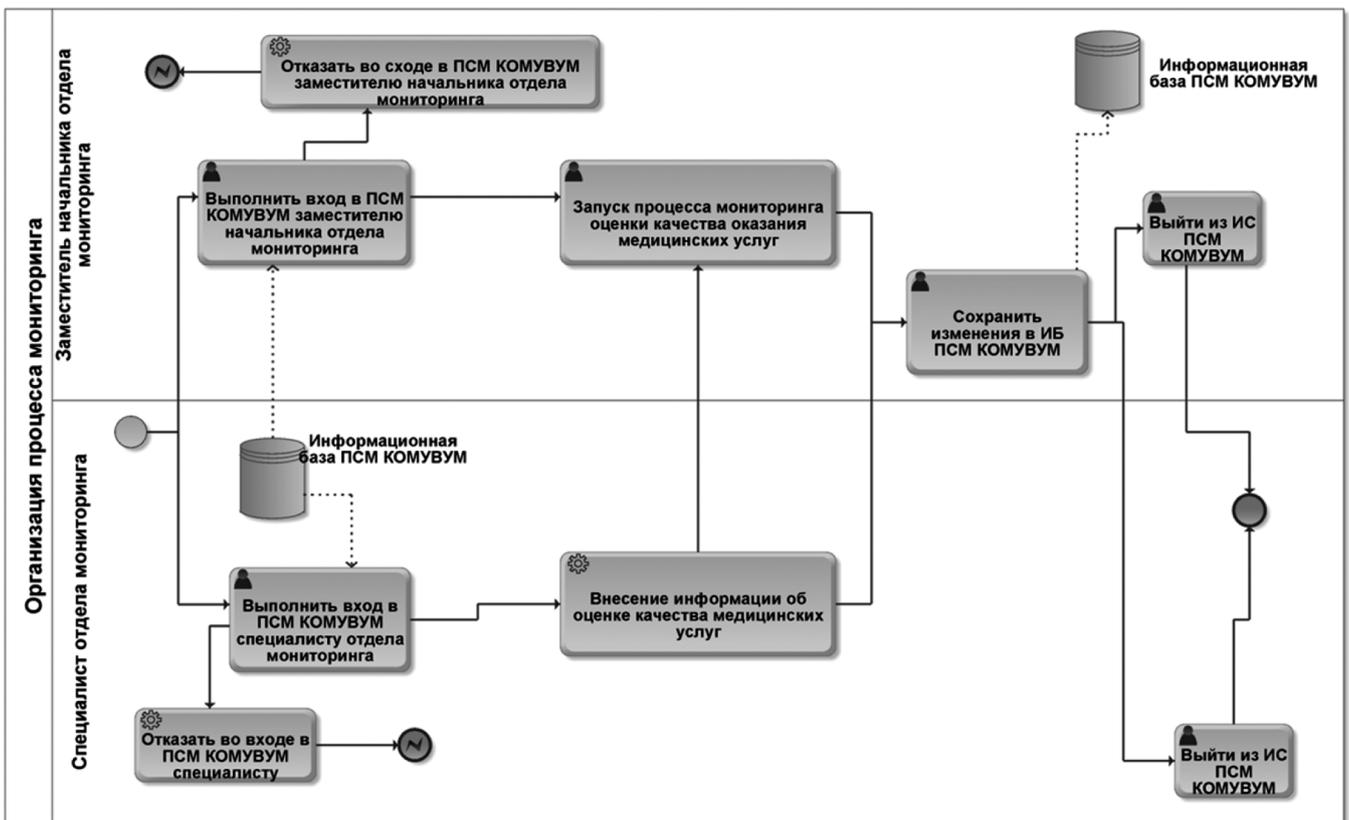


Рис. 4. Диаграмма процесса организации мониторинга

стороны [7]. Затем выполняет интерпретирование результатов, сохраняет изменения и выходит из системы.

Аналитик данных осуществляет вход в систему. В случае ошибки на этом этапе система отказывает пользователю во входе с правами Аналитика данных и выдает ошибку. Аналитик данных разрабатывает рекомендации по результатам мониторинга и сохраняет изменения в информационной базе. После выполнения вышеука-

занных действий Аналитик данных осуществляет выход из ПСМ КОМУВУМ.

Схема описания процесса подготовки отчетов о мониторинге качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса представлена на рисунке 6.

Аналитик данных осуществляет вход в систему с правами ведущего аналитика данных и выбирает раздел

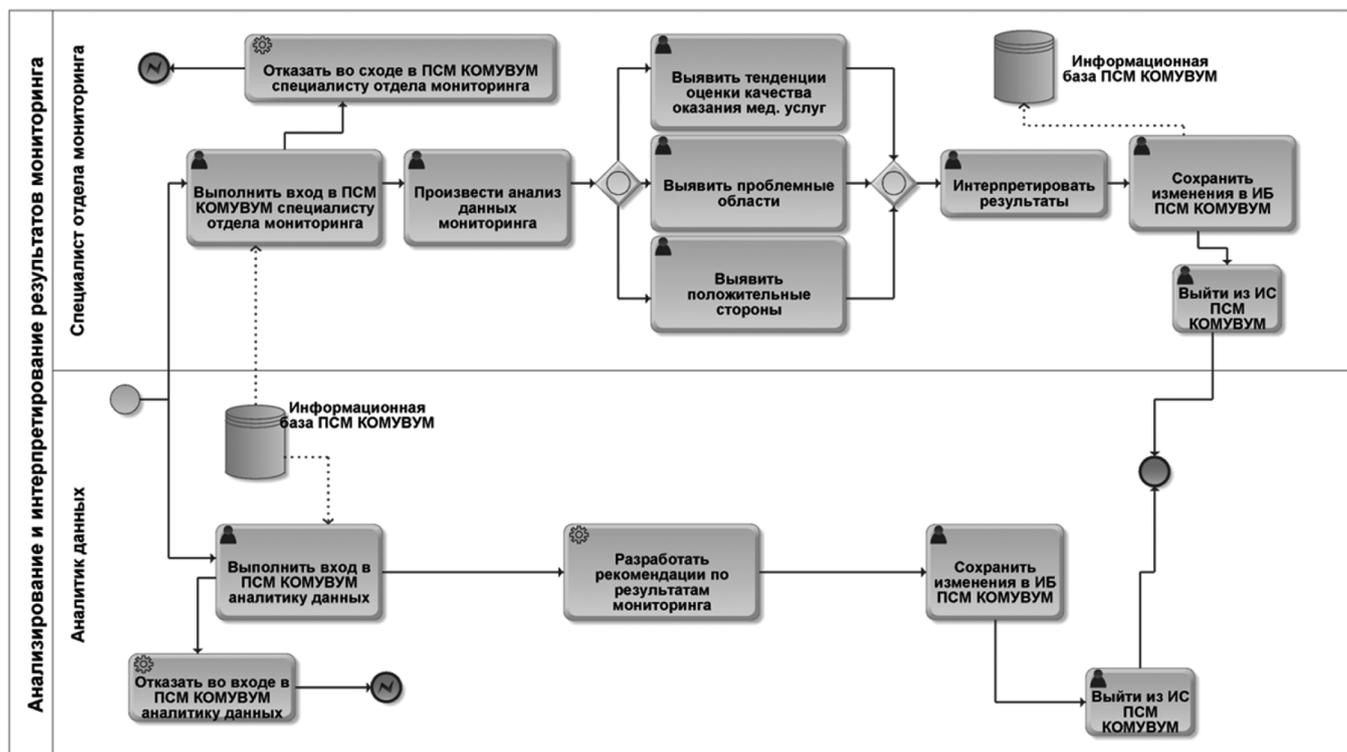


Рис. 5. Диаграмма процесса проведения анализа и интерпретирования результатов мониторинга

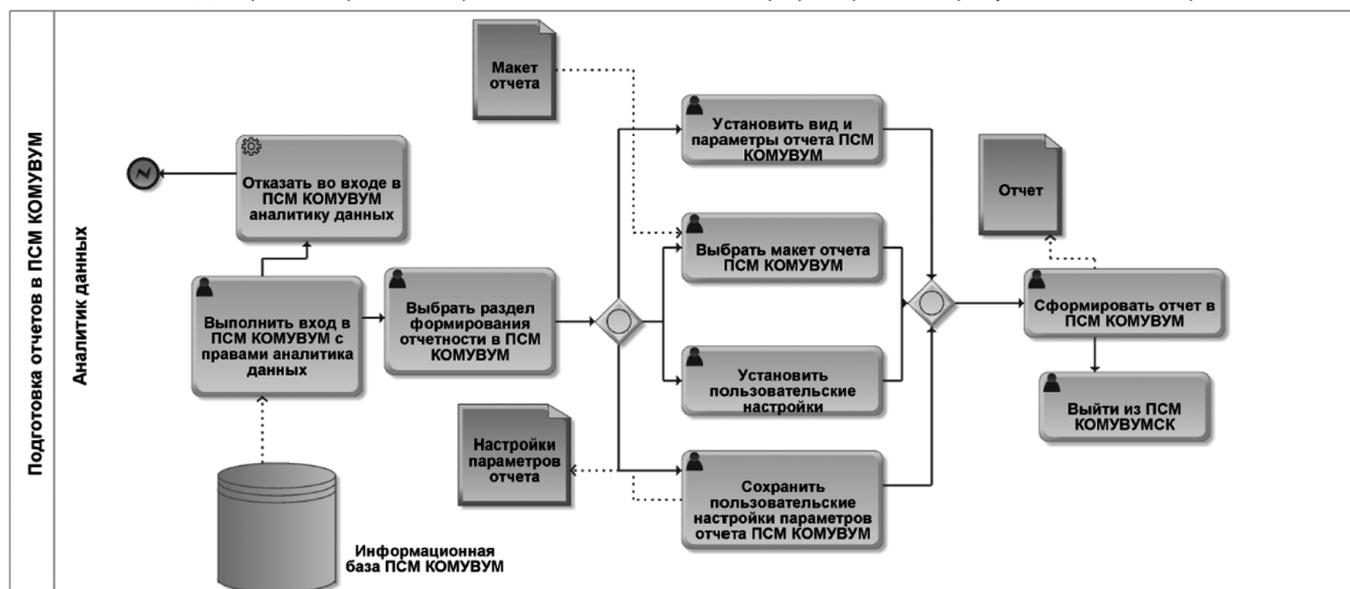


Рис. 6. Диаграмма процесса подготовки отчетов о мониторинге качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса

формирования отчетности. Ему необходимо установить вид и параметры отчета, выбрать макет, установить пользовательские настройки и сохранить их [8]. Далее Аналитик данных формирует отчет в системе. После создания необходимого отчета Аналитик данных осуществляет выход из системы. В случае возникновения ошибки Аналитик данных получает отказ в доступе к системе и выполнении дальнейших действий.

Заключение

Таким образом, были созданы схемы функционирования программной системы мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса с помощью инструментального средства ARIS Express и нотации BPMN, которые в совокупности представляют собой функциональную модель [9] — основу дальнейшей разработки программной системы мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов А.А., Ромашкова О.Н. Модели бизнес-процессов по осуществлению рейтингового оценивания деятельности организаций медико-социального профиля // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. — 2021. — №01. — С. 83–96.
2. Волк В.К. Базы данных. Проектирование, программирование, управление и администрирование — СПб.: Издательство Лань, 2020. — 244 с.
3. Назаров С.В. Архитектура и проектирование программных систем. — Москва: ИНФРА-М, 2018. — 34 с.
4. Заболотникова В.С., Ромашкова О.Н. Анализ методов кластеризации для эффективного управления процессами в налоговой службе // Фундаментальные исследования. 2017. № 9-2. С. 303–307.
5. Новиков Б.А. Основы технологий баз данных. — Москва: Издательство ДМК Пресс, 2019. — 240 с.
6. Осипов Д.Л. Технологии проектирования баз данных. — Москва: Издательство ДМК Пресс, 2019. — 498 с.
7. Петрова А.М., Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н., Чискидов С.В. Модели процессов функционирования информационной системы мониторинга климата и окружающей среды в арктическом регионе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 4-2. С. 104–110.
8. Радченко М.Г. 1С: Предприятие 8.3. Практическое пособие для разработчика. — М.: ООО «1С — Пабблишинг», СПб: Питер. 2018. — 964 с.
9. Новикова А.С., Ромашкова О.Н. Интеграция нейросетей в информационные системы розничных торговых сетей: прогнозирование и управление распределением ресурсов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024. № 1-2. С. 49–52.

© Маркелова Анастасия Вячеславовна (anastat.zubo@mail.ru); Ромашкова Оксана Николаевна (ox-rom@yandex.ru);

Чискидов Сергей Васильевич (chis69@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КОНЦЕПЦИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ НОВОГО ПОДХОДА К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ПРОДАЖ ТОВАРНЫХ ЗАПАСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

CONCEPT AND IMPLEMENTATION OF A NEW APPROACH TO INVENTORY SALES FORECASTING USING MACHINE LEARNING METHODS

A. Mikryukov

Summary. This article reveals a conceptual model for forecasting sales of inventory using machine learning methods. The issues reflected in the article are particularly relevant in the context of the need to optimize inventory management using applied methods and computer technologies based on machine learning. The purpose of the scientific research is to develop a new approach to forecasting sales of inventory using machine learning methods. To achieve this goal, the article presents a general description of the use of the machine learning concept in retail; provides an overview of inventory management methods in retail; reflects the results of the development of a method for forecasting sales of inventory based on machine learning models.

Keywords: machine learning methods; inventory; sales forecasting; new approach; concept; retail.

Микрюков Алексей Александрович

Аспирант, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск
9127771067@mail.ru

Аннотация. В данной статье раскрывается концептуальная модель прогнозирования продаж товарных запасов с использованием методов машинного обучения. Отражаемые в статье вопросы приобретают особую актуальность в условиях необходимости оптимизации управления товарными запасами с использованием прикладных методов, компьютерных технологий, основанных на машинном обучении. Цель научного исследования состоит в разработке нового подхода к прогнозированию продаж товарных запасов с использованием методов машинного обучения. Для достижения поставленной цели в статье представлена общая характеристика использования концепции машинного обучения в ритейле; приведен обзор методов управления товарными запасами в ритейле; отражены результаты разработки метода прогнозирования продаж товарных запасов на основе моделей машинного обучения.

Ключевые слова: методы машинного обучения; товарные запасы; прогнозирование продаж; новый подход; концепция; ритейл.

Введение

В ритейле процесс стратегирования продаж, обусловленный необходимостью анализа и математического моделирования огромных массивов информации, планомерно стал центральным звеном увеличения отраслевой конкурентоспособности компаний. Кроме того, в настоящее время отмечается тренд на наращивание объёма внешних и внутренних данных, характеризующих потребительское поведение, конверсию продаж, охват покупательской аудитории. Возникновение разных методов машинного обучения привело к новым возможностям автоматизации процесса продаж товарных запасов. Такие возможности способствуют тому, что компании в ритейле могут использовать автоматизированные инструменты изменения стоимости товарных запасов в качестве ответной реакции на покупательский спрос, объёма и качества товарных запасов в динамике, а также рыночного поведения целевой аудитории. Автоматизация операций даёт возможность увеличить эффективность операционной деятельности ритейлеров, усовершенствовать равновесие между степенью удовлетворенности покупательской аудитории и рентабельностью продаж товарных запасов.

Особое значение для ритейлеров в настоящее время имеет возможность прогнозирования продаж товарных запасов с высокой надёжностью и точностью. Для принятия обоснованных бизнес-решений о приобретении товарных запасов, их управлении и распределении нужны прогнозы продаж. Уровень их точности воздействует на результативность процессов ритейлеров. Прежде всего, прогнозирование продаж товарных запасов предполагает определение закономерностей в реализации товарной продукции, наблюдаемых по конкретным временным интервалам.

В условиях волатильного покупательского спроса классические математические модели прогнозирования, как правило, являются низкоэффективными. Поэтому необходимы актуальные подходы к прогнозированию продаж товарных запасов, базирующихся на современных аналитических методах, в частности, на машинном обучении. Именно данный метод способен учитывать разнообразие факторов, воздействующих на управление товарными запасами в организационных системах, а также изучать ретроспективные данные в целях наиболее точного определения трендов и закономерностей в реализации товарной продукции [5].

Цель работы — разработка нового подхода к прогнозированию продаж товарных запасов с использованием методов машинного обучения.

Для достижения поставленной цели в статье необходимо решить следующие задачи:

1. Представлена общая характеристика использования концепции машинного обучения в управлении организационными системами.
2. Приведен обзор методов управления товарными запасами в организационных системах.
3. Отражены результаты разработки метода прогнозирования продаж товарных запасов на основе моделей машинного обучения.

Материалы и методы

Для осуществления аналитического обзора методов управления товарными запасами в организационных системах был осуществлен анализ теоретических и эмпирических источников академической литературы, аналитических документов, отражающих особенности управления товарными запасами в организационных системах, а также параметры достижения эффективности методов управления товарными запасами, используемых в организационных системах, применялись методы индукции, дедукции, сопоставления, систематизации.

Помимо вышеуказанных методов, автором статьи для разработки метода прогнозирования продаж товарных запасов на основе моделей машинного обучения использовались системный подход, метод машинного обучения, обработки информационных данных, математического моделирования и прогнозирования продаж, аддитивные модели, метод дифференцирования данных.

Общая характеристика использования концепции машинного обучения в управлении организационными системами

Использование концепции машинного обучения оказывает существенное воздействие на разные секторы национального экономического комплекса, в том числе ритейл и смежные с торговлей отрасли, в которых динамика показателей продаж обусловлена теоретическими и эмпирическими научными исследованиями, посвященными изучению эффективности использования концепции машинного обучения в рассматриваемом отраслевом секторе и смежными с ним [3].

В частности, С.В. Кузнецов считает, что традиционные статичные методы ценообразования в ближайшее время будут существенно уступать динамическим моделям, инструментам автоматизации операций в организационных системах с ориентацией на персонализацию коммерческих предложений целевой аудитории [2]. В науч-

но-исследовательской работе Е.В. Загайновой отражен авторский механизм, способствующий посредством модели динамического ценообразования уменьшить число непроданных авиабилетов [1].

Концепция динамического ценообразования как компонент стратегирования товарных запасов в организационных системах подразумевает огромный набор переменных, поэтому обработать такую модель в ручном режиме не представляется возможным. В данном случае метод машинного обучения позволяет сформировать такую модель, которая может самостоятельно адаптировать и скорректировать переменные, исходя из меняющихся внешних условий. Соответственно, увеличится уровень качества операционной деятельности, её результативность без потребности в глубоком понимании осуществляемых процессов в организационных системах, направленных на получение максимального финансового результата.

По мнению А.Н. Чернякова, уровень потенциала концепции машинного обучения в управлении организационными системами достаточно высокий не только в сфере динамического ценообразования, но и во всех операциях продаж, начиная с управления товарными запасами и завершая клиентским обслуживанием полного цикла [9]. Это также обуславливает преобразующее воздействие методов машинного обучения на современное состояние и функционирование организационных систем.

Кроме методов машинного обучения, привлекательность набирает генеративная концепция, базирующаяся на технологии искусственного интеллекта. Подобные модели позволяют оптимизировать управление товарными запасами, их ценообразование, обосновать принимаемые решения в управлении организационными системами [11].

Машинное обучение представляет собой сегмент информатики и искусственного интеллекта, ориентированный на практическое применение алгоритмов, способствующих имитационному моделированию компонента управления организационными системами высокой надёжности и точности.

Шаги алгоритма методов машинного обучения следующие:

- принятие решения в ходе управления организационными системами, зачастую методы машинного обучения применяются в целях классификации объектов либо их прогнозирования. Посредством такого метода происходит аппроксимация закономерностей;
- вычисление ошибки: данная целевая функция даёт возможность оценить прогнозирование выбранного объекта. Наиболее простой вариант це-

левой функции ошибки прогноза объекта — сред-
неквадратическое отклонение;

- оптимизация концепции: для того, чтобы мини-
мизировать значение среднеквадратического от-
клонения, набор переменных меняется. Цель кор-
ректировки системы переменных — сокращение
несоответствия между оценкой прогноза и вве-
денной переменной. Это происходит при помощи
метода итераций до момента получения высокого
порога надёжности и точности [6].

Обзор методов управления товарными запасами в организационных системах

Анализ теоретических и эмпирических источников
академической литературы позволил систематизиро-
вать методы управления товарными запасами в органи-
зационных системах в разрезе факторов, которые воз-
действуют на уровень эффективности использования
этих методов в управлении (таблица 1).

Для того чтобы сформировать новый подход к управ-
лению товарными запасами в организационных систе-
мах, целесообразно учитывать следующий набор факто-
ров:

- существует потребность в автоматизированном
управлении ассортиментным наполнением рын-
ка на фоне крайне высокого темпа обновления
товарного ассортимента, быстрого устаревания
используемых концепций по причине динамич-
ности рыночных сегментов торговли, волатиль-
ности покупательского спроса, частых изменений
стоимости выбранного объекта;
- необходимость проведения сегментации целевой
аудитории посредством методов машинного об-
учения;
- наличие технологических факторов, препятству-
ющих оптимальному управлению в организаци-
онных системах: ограничения в работе цифровых
платформ, трудности интеграции баз информа-
ционных данных в технические модели, сложно-
масштабируемые технические модели автоматиза-
ции управления элементами организационных
систем.

Результаты разработки метода прогнозирования продаж товарных запасов на основе моделей машинного обучения

Для формирования прогнозной модели продаж
товарных запасов применялся язык программирова-
ния — Python. Объект исследования — ритейлер ООО
ГК «Командор». Было сформировано несколько наборов
информационных данных:

- 1 товар, 1 статистический ряд данных, 1 магазин,
общее количество наблюдений — 841;

Таблица 1.

Систематизация методов управления товарными
запасами в ритейле в разрезе факторов, влияющих
на уровень эффективности их практического
применения в ритейле

Фактор	Методы в управлении организационными системами
Прогнозирование спроса в рыночной среде, оптимиза- ция объёма вы- бранного объекта	Генетический алгоритм, искусственная нейрон- ная сеть
	Интегрированная скользящая средняя и авторе- грессия, нелинейная нейронная сеть
	Регресс голосования
	Дерево регрессии и классификации
	Метод машинного обучения XGBoost
Динамическое про- граммирование	Частично наблюдаемый марковский процесс принятия решений
	Полумарковский процесс принятия решений
	Признание марковских процессов принятия решений
	Глубокое машинное обучение с подкреплением
Принятие решений в управлении организационны- ми системами в ре- альном времени	Глубокое машинное обучение с подкреплением
	Q-обучение
Управление в ус- ловиях сложных зависимостей	Мультиномиальная логистическая регрессия
	Полумарковский процесс принятия решений
Многокритерияль- ная оптимизация	Метод Мартингейла
	Метод динамического программирования
	Многокритерийный анализ решений
	Многокритерийная классификация выбран- ных объектов

Источник: составлено автором на основе [4], [7], [8], [10].

- 1 товар, 10 статистических рядов данных, 10 мага-
зинов, общее количество наблюдений — 8402;
- 2 товара, 20 статистических рядов данных, 10 ма-
газинов, общее количество наблюдений — 16749.

Тестовая выборка сформирована по периоду
28 дней — 24.03.2024 — 20.04.2024 гг. Тренировоч-
ные данные были взяты за промежуток в 813 дней —
01.01.2022 — 23.03.2024 гг.

Для прогнозирования продаж товарных запасов
применялись следующие методы: SARIMAX, Auto-ARIMA,

Prophet, экспоненциальное сглаживание Уинтерса, градиентный бустинг. Была осуществлена оценка степени точности прогнозных моделей продаж товарных запасов по первому набору информационных данных для выбора наиболее оптимальной модели машинного обучения по второму и третьему набору информационных данных (таблица 2).

Таблица 2.

Оценка степени точности прогнозных моделей по первому набору информационных данных

Прогнозная модель	RMSE	MAE	MAPE, %
SARIMAX	13,8	10,6	16,0
Auto-ARIMA	12,7	9,9	14,9
Prophet	13,9	11,4	15,9
Экспоненциальное сглаживание Уинтерса	21,3	17,2	24,0
Градиентный бустинг	13,7	10,7	16,1

Источник: составлено автором

В соответствии с результатом, приведенным в таблице 2, можно наблюдать, что максимальный уровень точности прогнозной модели имеется при использовании метода Auto-ARIMA. Этот метод способен адекватно учитывать сезонность колебаний и временные зависимости потребительского поведения в ритейле. Вместе с тем у градиентного бустинга также отмечается хорошая точность прогнозирования с учётом сезонности покупательского спроса и трендов в ритейле. Сопоставимые с градиентным бустингом были получены результаты по модели Prophet.

Минимальную точность в прогнозировании показывает модель экспоненциального сглаживания, так как

была получена достаточно высокая величина относительной ошибки. Соответственно, метод экспоненциального сглаживания менее предпочтителен в решении поставленной в научном исследовании задачи.

В отличие от остальных методов машинного обучения градиентный бустинг может применяться для обработки множественных статистических рядов. Основное преимущество градиентного бустинга — эффективная обработка сложных наборов информационных данных, огромных массивов информации, в которых могут содержаться пропуски числовых значений; наличие мощных вычислительных ресурсов для автоматизированной обработки выбросов экстремальных значений в общей выборке данных. Поэтому прогнозирование продаж товарных запасов по второму и третьему набору информационных данных осуществлялось с применением градиентного бустинга (рисунки 1, 2).

Полученный результат прогнозирования позволяет отметить следующее. Средняя ошибка прогнозирования в существенной мере отличается в разрезе магазинов, поэтому для разных компаний-ритейлеров степень точности градиентного бустинга будет разной. В частности, по второму и десятому магазину ООО ГК «Командор» обнаружены максимальные значения средней ошибки прогнозирования, следовательно, нужно провести оптимизацию метода машинного обучения с целью увеличения степени точности прогноза. Также присутствует потребность в использовании индивидуального подхода к прогнозированию выбранных объектов в разрезе торговых точек. Учитывая специфические факторы продаж для конкретного магазина, можно повысить степень точности построенной прогнозной модели, минимизировать среднюю ошибку конечного результата при применении методов машинного обучения.

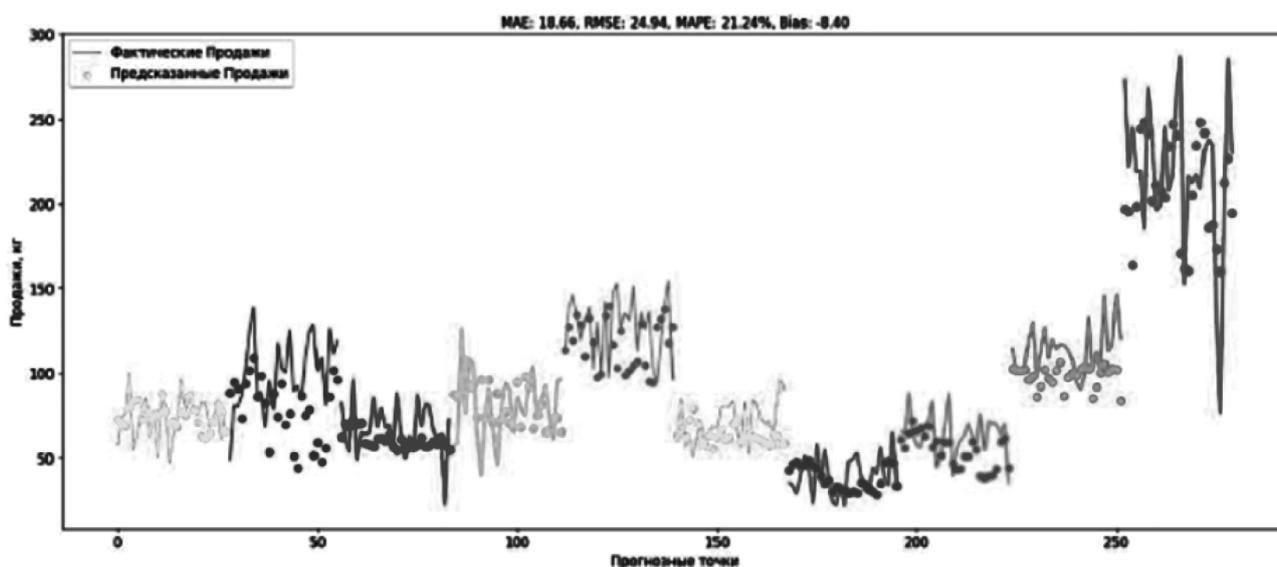


Рис. 1. Результат прогнозирования продаж товарных запасов (бананов) с применением градиентного бустинга — второй набор информационных данных (источник: составлено автором на основе [4], [7], [8], [10])

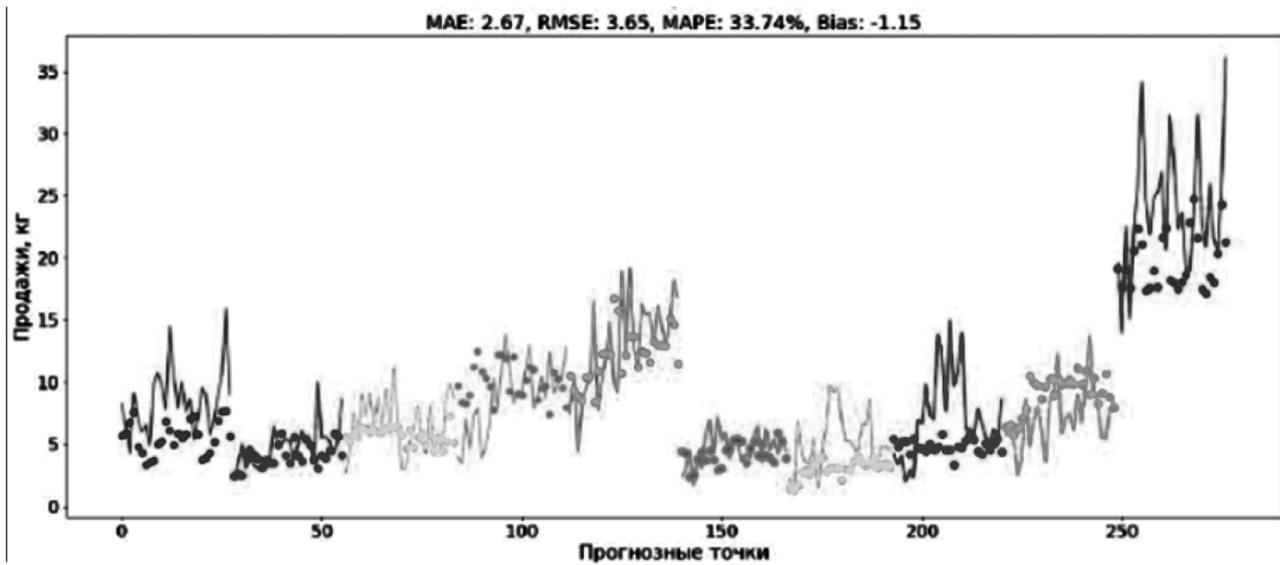


Рис. 2. Результат прогнозирования продаж товарных запасов (только лимонов — второго товара) с применением градиентного бустинга — третий набор информационных данных (источник: составлено автором на основе [4], [7], [8], [10])

Выводы

В рамках данного исследования представлена общая характеристика использования концепции машинного обучения в управлении организационными системами.

Метод машинного обучения позволяет сформировать такую модель, которая может самостоятельно адаптировать и скорректировать переменные, исходя из меняющихся внешних условий. Соответственно, увеличится уровень качества операционной деятельности, её результативность без потребности в глубоком понимании осуществляемых процессов в организационных

системах, направленных на получение максимального финансового результата.

Приведен обзор методов управления товарными запасами в организационных системах в разрезе факторов, влияющих на уровень надежности практического применения инструментов моделирования.

Отражены результаты разработки метода прогнозирования продаж товарных запасов в управлении организационными системами на основе моделей машинного обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загайнова Е.В. Модель динамического ценообразования на рынке пассажирских авиаперевозок // Журнал экономической теории. — 2017. — №. 4. — С. 176–182.
2. Кузнецов С.В. Динамическое ценообразование в электронной коммерции // Экономические исследования и разработки. — 2017. — №. 3. — С. 6–11.
3. Люкевич И.Н., Долгов А.М. Применение машинного обучения в ценообразовании инноваций // В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли: матер. Всерос. науч.-практ. и учеб.-метод. конф. (СПб., 15–19 мая 2023 г.). — СПб.: Политех-Пресс, 2023. — С. 114–122.
4. Мустафин Ф.М., Харисов Р.А. Определение оптимальной конструкции защитных покрытий трубопроводов методом экспертной оценки // Трубопроводный транспорт: теория и практика. — 2009. — №. 1. — С. 42–46.
5. Передерий В.А., Рысин М.Л. Сравнительная характеристика библиотек машинного обучения для внедрения искусственного интеллекта в CRM-систему // Инженерный вестник Дона. — 2024. — №. 4 (112). — С. 14.
6. Фирюлина М.А., Каширина И.Л. Описание процесса прогнозирования проблемных состояний с применением ансамблевых методов машинного обучения // Инженерный вестник Дона. — 2022. — №. 4 (88). — С. 34–46.
7. Харисов Р.А., Исаев Ш.З., Латыпов А.М. Расчетная оценка кривых малоциклового трещиностойкости металла труб // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. — 2012. — №. 2. — С. 349–353.
8. Харисов Р.А. Оценка скорости локализованной коррозии и охрупчивания металла труб // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. — 2013. — №. 3. — С. 24–27.
9. Черняков А.Н. Обзор информационных платформ-источников наборов данных для построения моделей машинного обучения в ритейле // Инновации и инвестиции. — 2023. — №. 3. — С. 218–223.
10. Ayhan H.M., Kir S. ML-driven approaches to enhance inventory planning: Inoculant weight application in casting processes // Computers & Industrial Engineering. — 2024. — Т. 193. — Ст. 110280.
11. Kreuzberger D., Kühl N., Hirschl S. Machine learning operations (mlops): Overview, definition, and architecture // IEEE access. — 2023. — Т. 11. — С. 31866–31879.

ЗАШИФРОВАННАЯ ПЕРЕПИСКА ЧЕРЕЗ ПРОТОКОЛ SMTP РЕАЛИЗОВАННЫЙ НА ЯЗЫКЕ C#

PROBLEM-ORIENTED LANGUAGE FOR WORKING WITH TEXT AS A PYTHON MODULE

**A. Mukhortov
S. Koryagin**

Summary. Confidentiality within the company is one of the most important factors in its work. To ensure security, it is necessary to think over a system for protecting the data transmitted inside the information system, which can entail large costs. The need for confidential correspondence between subjects in the company will reduce the risk of data leakage and their further dissemination. Any company uses an electronic mail service to communicate between departments and with customers. In this article, we implement secure correspondence based on the SMTP data transfer protocol using a strong AES encryption algorithm. The advantage of this method of communication is that the library will need to be integrated into the end devices in the information system, and the data will be stored on the server in encrypted form, thereby there is no need to alter the existing information system.

Keywords: SMTP, mail client, encryption algorithms, AES, C#, data protection.

Введение

Simple Mail Transfer Protocol предназначен для отправки писем из одной системы в другую.

Это могут быть почтовые клиенты, такие как Outlook, почтовые серверы, такие как Microsoft Exchange, межсетевой экран и т.д.

Связь по умолчанию осуществляется в виде открытого текста. Но в настоящее время вы, скорее всего, увидите, как почтовые серверы переключаются с обычного текста на защищенный канал с помощью SSL / TLS.

Несмотря на это сами данные, которые передаются по протоколу не зашифрованы, соответственно к ним можно получить доступ. Изучив библиотеки научных статей:

- sciencedirect.com
- onlinelibrary.wiley.com
- Научная библиотека eLibrary.ru

Статьей на подобную тематику не было обнаружено. Суть защищённой переписки по протоколу SMTP, заклю-

Мухортов Артём Александрович

Российский Технологический Университет МИРЭА
Artem.mukh@gmail.com

Корягин Сергей Викторович

кандидат технических наук,
МГУПИ «Московский государственный университет
приборостроения и информатики»
dongenealog2003@mail.ru

Аннотация. Конфиденциальность внутри компании является одним из важнейших факторов в её работе. Для обеспечения безопасности необходимо продумать систему защиты данных, передаваемых внутри информационной системы, что может повлечь за собой большие издержки. Необходимость конфиденциальной переписки между субъектами в компании позволит уменьшить риск утечки данных и дальнейшее их распространение. В любой фирме используется электронный почтовый сервис для общения между отделами и с клиентами. В данной статье реализуем защищённую переписку на основе протокола передачи данных SMTP используя крепкий алгоритм шифрования AES. Преимуществом данного способа общения заключается в том, что библиотеку необходимо будет интегрировать на конечные устройства в информационной системе, а данные будут храниться на сервере в зашифрованном виде, тем самым отсутствует необходимость в переделке существующей информационной системе.

Ключевые слова: SMTP, почтовый клиент, алгоритмы шифрования, AES, C#, защита данных.

чается в том, что данные на сервере будут храниться в зашифрованном виде, и для того, чтобы дешифровать их необходимо иметь ключ шифрования, который будет иметься только на персональных компьютерах конечных пользователей. Таким образом сохраниться конфиденциальность. Для шифрования будем использовать стойкий криптографический алгоритм AES.

SMTP протокол

SMTP — требующий соединения текстовый протокол, по которому отправитель сообщения связывается с получателем посредством выдачи командных строк и получения необходимых данных через надёжный канал, в роли которого обычно выступает TCP-соединение. SMTP-сессия состоит из команд, посылаемых SMTP-клиентом, и соответствующих ответов SMTP-сервера. Когда сессия открыта, сервер и клиент обмениваются её параметрами. Сессия может включать ноль и более SMTP-операций (транзакций).

SMTP-операция состоит из трёх последовательностей команда/ответ (см. пример ниже). Описание последовательностей:

- **MAIL FROM** — устанавливает обратный адрес. Это адрес для возвращённых писем.[3]
- **RCPT TO** — устанавливает получателя данного сообщения. Эта команда может быть дана несколько раз, по одной на каждого получателя. Эти адреса также являются частью оболочки.[3]
- **DATA** — для отправки текста сообщения. Это само содержимое письма, в противоположность его оболочке. Он состоит из заголовка сообщения и тела сообщения, разделённых пустой строкой. DATA, по сути, является группой команд, а сервер отвечает дважды: первый раз на саму команду DATA, для уведомления о готовности принять текст; и второй раз после конца последовательности данных, чтобы принять или отклонить всё письмо.[3]

Преимуществом использования протокола SMTP, является его простота в запуске в информационной системе, проверенная временем работоспособность и популярность в использовании. Любая компания использует почтовый сервер для общения с конечным потребителем и коммуникации внутри фирмы. Это позволяет упростить внедрение библиотеки в информационную систему предприятий.

Шифрование AES

AES — симметричный алгоритм блочного шифрования (размер блока 128 бит, ключ 128/192/256 бит). Этот алгоритм хорошо проанализирован и сейчас широко используется, как это было с его предшественником DES.[1]

На данный момент AES является одним из самых криптостойких алгоритмов шифрования.

Прежде всего отметим, что алгоритм AES оперирует байтами, которые интерпретируются как элементы конечного поля $F(28)$. В этом поле определены операции сложения и умножения двух элементов, результатом которых, в свою очередь, также является элемент этого поля. Рассмотрим каждую из операций:

- **Сложение** выполняется с помощью операции xor. Операция выполняется над двоичными числами поразрядно, то есть для двух байт $P = \{ p_7, p_6, p_5, p_4, p_3, p_2, p_1, p_0 \}$ и $Q = \{ q_7, q_6, q_5, q_4, q_3, q_2, q_1, q_0 \}$ результатом будет $R = \{ r_7, r_6, r_5, r_4, r_3, r_2, r_1, r_0 \}$, где $r_i = p_i \text{ xor } q_i$.
- **Умножение.** Для этой операции используется представление байта в виде полинома: $p(x) = p_7x^7 + p_6x^6 + p_5x^5 + p_4x^4 + p_3x^3 + p_2x^2 + p_1x + p_0$, умножение в поле $F(28)$ в таком представлении производится по модулю неприводимого в этом поле многочлена $m(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x + 1$. Таким образом, для того, чтобы получить результат умножения двух чисел в поле $F(28)$, мы должны

представить их в виде полиномов $p(x)$ и $q(x)$, затем взять остаток от деления на многочлен $m(x)$ произведения $p(x)$ и $q(x)$, то есть $r(x) = p(x)q(x) \text{ mod } (m(x))$, и получить коэффициенты полинома $r(x)$, которые являются 8-битовым числом в поле $F(28)$.

Теперь перейдем от математики к описанию самого алгоритма шифрования AES с размером ключа 128 бит.

Предварительно входные данные разбиваются на блоки по 16 байт, если полный размер не кратен 16 байтам, то данные дополняется до размера, кратного 16 байтам. Блоки представляются в виде матрицы 4×4 — state. Далее происходит процедура расширения ключа и к каждому блоку state применяются операции 2–4. Итак, алгоритм состоит из следующих шагов:

- Расширение ключа — KeyExpansion;
- Начальный раунд — сложение state с основным ключом;
- 9 раундов шифрования, каждый из которых состоит из преобразований
 - SubBytes
 - ShiftRows
 - MixColumns
 - AddRoundKey
- Финальный раунд, состоящий из преобразований:
 - SubBytes
 - ShiftRows
 - AddRoundKey

SubBytes — замена байтов state по таблице S-box. Каждый байт представляется в виде двух шестнадцатеричных чисел $b = (x, y)$, где x определяется 4 старшими разрядами b , а y — 4 младшими. В таблице S-box размера 16×16 находятся значения для замены исходного байта: значение b' на пересечении строки x и столбца y S-box используется в качестве замены исходному байту b . [2]

- ShiftRows — циклический сдвиг строк state. Нулевая строка остается на месте, первая смещается влево на 1 байт, вторая на 2 байта и третья на 3 соответственно [2].

MixColumns — умножения каждого столбца state на фиксированную матрицу. Таким образом осуществляется линейное преобразование над столбцами state. Причем умножение и сложение производится по правилам, описанным выше.[2]

AddRoundKey — раундовый ключ поэлементно добавляется к state с помощью поразрядного XOR.[2]

KeyExpansion — процедура расширения основного ключа для создания раундовых ключей, которые затем используются в раундах шифрования. Расширенный

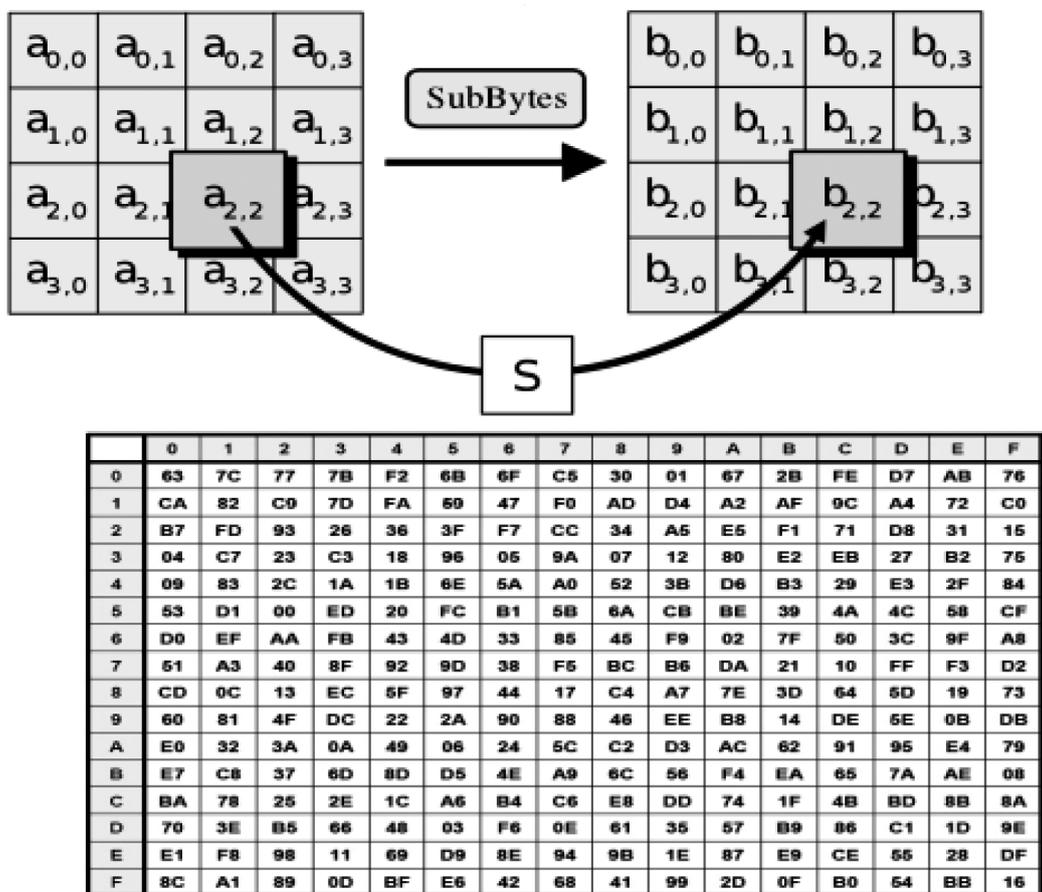


Рис. 1. SubBytes [2]

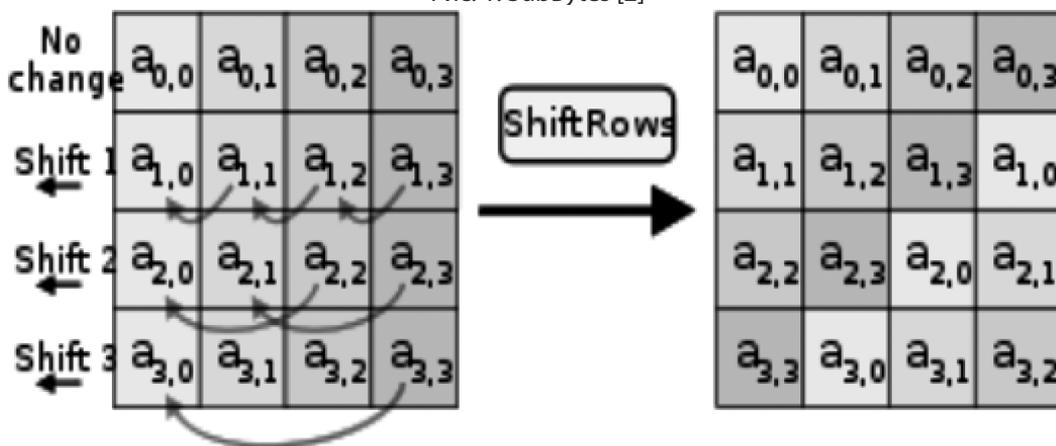


Рис. 2. ShiftRows [2]

ключ состоит из 44 четырехбайтовых слов (w_i): 4 слова на основной ключ и по 4 слова на 10 раундовых ключей. Таким образом, полная длина расширенного ключа составляет 1408 бит. [2]

Так же стоит отметить другие алгоритмы шифрования.

- DES — алгоритм для симметричного шифрования, разработанный фирмой IBM и утверждённый правительством США в 1977 году как официальный

стандарт. Размер блока для DES равен 64 битам. В основе алгоритма лежит сеть Фейстеля с 16 циклами и ключом, имеющим длину 56 бит. Алгоритм использует комбинацию нелинейных и линейных преобразований. Из-за того, что данный алгоритм уже старый его защищённость не удовлетворяет существующим нормам.

- Triple DES (3DES) — симметричный блочный шифр, созданный Уитфилдом Диффи, Мартином Хеллманом и Уолтом Тачманном в 1978 году на ос-

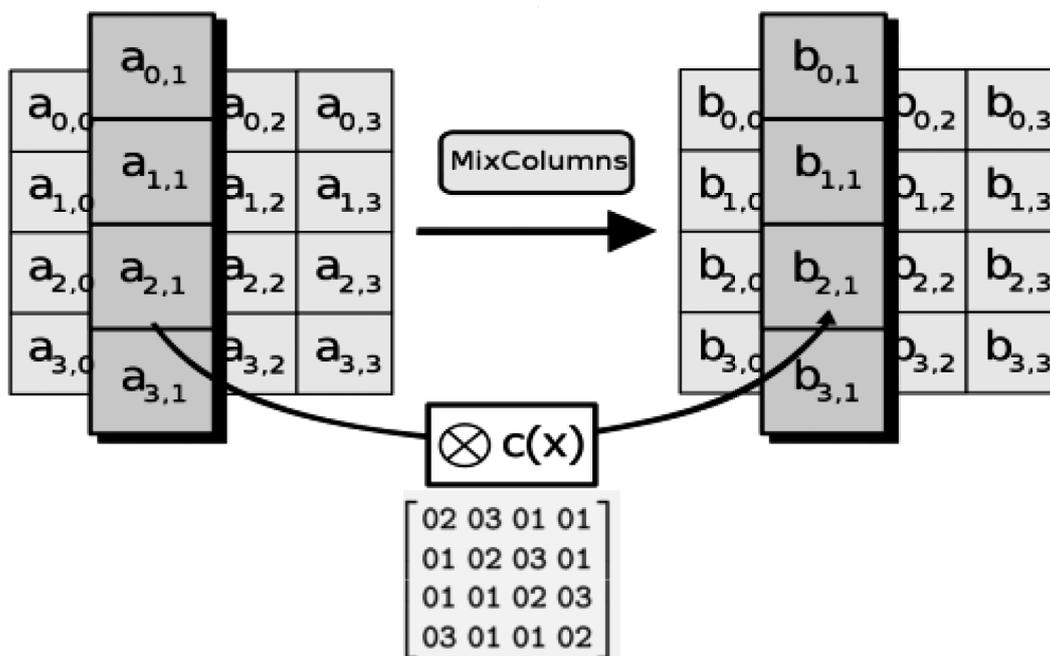


Рис. 3. MixColumns[2]

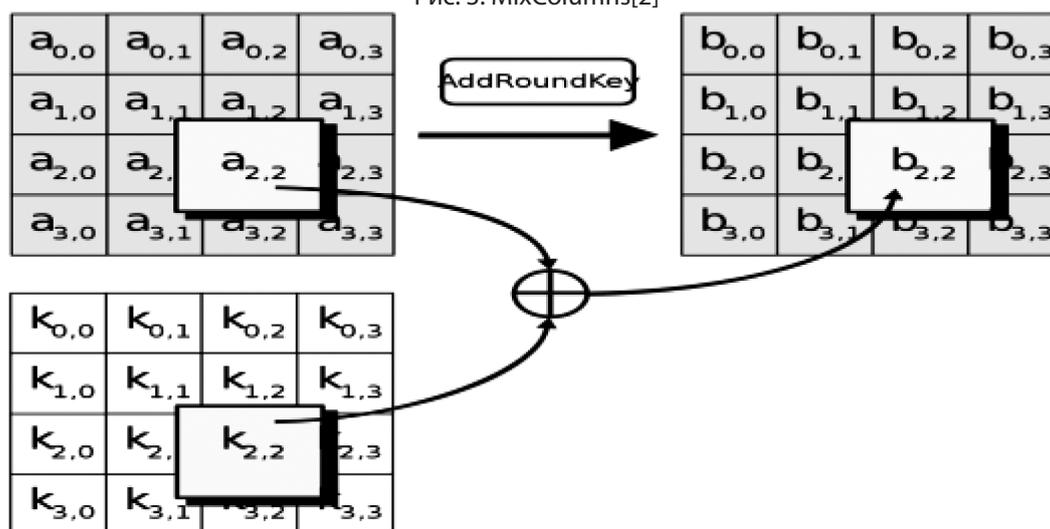


Рис. 4. AddRoundKey[2]

нове алгоритма DES с целью устранения главного недостатка последнего — малой длины ключа (56 бит), который может быть взломан методом полного перебора ключа. Скорость работы 3DES в 3 раза ниже, чем у DES, но криптостойкость намного выше — время, требуемое для криптоанализа 3DES, может быть в миллиард раз больше, чем время, нужное для вскрытия DES. Данный алгоритм удовлетворяет существующим нормам защищённости, но из-за слишком долгой обработки не подходит для нашей задачи.

В среде разработки Microsoft .NET существует встроенная библиотека шифрования AES, которую мы будем использовать в процессе реализации библиотеки.

Практическая реализация алгоритма шифрования

Для реализации шифрования используем встроенную библиотеку в .NET 6 System.Security.Cryptography. На основе этого разработаем класс, который будет зашифровывать и дешифровывать наши данные — AESCrypto, который будет шифровать данные на базе 256-битного ключа.

```
using System;
using System.Security.Cryptography;
using System.Text;
```

```
class AESCrypto
{
    public string Message;
```

```

public byte[] Cypher;
private byte[] Key;

public AESCrypto(string key, string message)//Кон-
структор для шифрования сообщения
{
    Key = getBytesKey(key);
    //Обязательным условием является 32 разрядный
ключ иначе шифрование не пройдёт а искомые значе-
ния раны NULL
    if (Key!=null)
    {
        Cypher = EncryptStringToBytes_Aes(message);
    }
}

public AESCrypto(string key, byte[] cypher)//Кон-
структор для дешифрования сообщения
{

    Key = getBytesKey(key);
    //Обязательным условием является 32 разряд-
ный ключ иначе дешифрование не пройдёт а искомые
значения раны NULL
    if (Key!=null)
    {
        Message = DecryptStringFromBytes_Aes(cypher);
    }
}

private byte[] EncryptStringToBytes_Aes(string
plainText)//Метод шифрующий текст по ключу
{
    byte[] encrypted;
    byte[] IV;

    using (Aes aesAlg = Aes.Create())
    {
        aesAlg.Key = Key;

        aesAlg.GenerateIV();
        IV = aesAlg.IV;

        aesAlg.Mode = CipherMode.CBC;

        var encryptor = aesAlg.CreateEncryptor(aesAlg.
Key, aesAlg.IV);

        using (var msEncrypt = new MemoryStream())
        {
            using (var csEncrypt=new CryptoStream(msEncrypt,
encryptor, CryptoStreamMode.Write))
            {

```

```

                using (var swEncrypt = new
StreamWriter(csEncrypt))
                {
                    swEncrypt.Write(plainText);
                }
                encrypted = msEncrypt.ToArray();
            }
        }

        var combinedIvCt = new byte[IV.Length + encrypted.
Length];
        Array.Copy(IV, 0, combinedIvCt, 0, IV.Length);
        Array.Copy(encrypted, 0, combinedIvCt, IV.Length,
encrypted.Length);

        return combinedIvCt;
    }

    private string DecryptStringFromBytes_Aes(byte[]
cipherTextCombined) //Метод дешифрующий текст
по ключу
    {
        string plaintext = null;

        using (Aes aesAlg = Aes.Create())
        {
            aesAlg.Key = Key;

            byte[] IV = new byte[aesAlg.BlockSize/8];
            byte[] cipherText = new byte[cipherTextCombined.
Length — IV.Length];

            Array.Copy(cipherTextCombined, IV, IV.Length);
            Array.Copy(cipherTextCombined, IV.Length,
cipherText, 0, cipherText.Length);

            aesAlg.IV = IV;

            aesAlg.Mode = CipherMode.CBC;

            ICryptoTransform decryptor = aesAlg.
CreateDecryptor(aesAlg.Key, aesAlg.IV);

            using (var msDecrypt = new
MemoryStream(cipherText))
            {
                using (var csDecrypt=new CryptoStream(msDecrypt,
decryptor, CryptoStreamMode.Read))
                {
                    using (var srDecrypt = new
StreamReader(csDecrypt))

```

```

        {
            plaintext = srDecrypt.ReadToEnd();
        }
    }
}

return plaintext;
}

private byte[] getBytesKey(string key) //Преоб-
разование строки
{
    if(key.Length==32)
    {
        return Encoding.ASCII.GetBytes(key);
    }
    else
    {
        return null;
    }
}
}

```

В данной библиотеке присутствуют методы:

- `getBytesKey()` — преобразует ключ, полученный в `String` в массив `Byte`
- `DecryptStringFromBytes_Aes()` — метод дешифрующий текст по заданному ключу
- `EncryptStringToBytes_Aes()` — метод шифрующий текст по заданному ключу

В качестве сервера для отправки сообщений используем сервера Microsoft Outlook. Класс `MessageSender` создаёт образ письма и в качестве аргументов принимает данные логина, пароля, порта, по которому он будет обращаться к серверу и адрес сервера. Для отправки Email воспользуемся встроенный в библиотеку `Microsoft.NET System.Mail`.

Для повышения защиты SMTP для отправки писем будет использовать SSL шифрование данных, для того чтобы повысить защищённость передачи.

```

using System.Net;
using System.Net.Mail;
using System.Security;
using mail;

```

```

namespace unit
{
    class MessageSender
    {
        MessageBuilder build;
    }
}

```

```

public MessageSender(MessageBuilder builder)
{
    this.build = builder;
}

public void CreateMessage(string fromAddr,
string toAddr, string message)
{
    build.BuildAddress(fromAddr, toAddr);
    build.BuildTheme();
    build.BuildText(message);
}

public void SendMessage(string server,int
port,string username, string pass)
{
    SmtplibClient smtp = new SmtplibClient(server, port);
    SecureString theSecureString = new
NetworkCredential(«», pass).SecurePassword;
    smtp.Credentials=new NetworkCredential(username,
theSecureString);
    smtp.EnableSsl = true;
    smtp.Send(build.GetResult());
}
}
}

```

Для дешифрования на конечном устройстве, необходимо использовать класс `AESCrypto`, но в качестве входных параметров в конструктор используем ключ и битовое представление зашифрованных данных. Для преобразования `String` байтового представления данных, разработаем метод `stringToByteAES()` в библиотеке `AESCrypto()`, который возвращает массив байтов для дальнейшего дешифрования.

```

static byte[] stringToByteAES(string mess)
{
    int l=0;
    string[] array_bytes = mess.Split(«#»);
    byte[] array = new byte[array_bytes.Length-1];
    for(int j=0;j<array_bytes.Length-1;j++)
    {
        array[j]=Convert.ToByte(array_bytes[j]);
    }
    return array;
}
}

```

В качестве конструктора письма используем класс `MessageBuilder`.

```

using System.Net.Mail;
namespace mail
{
    public class MessageBuilder
    {
    }
}

```

```

{
    MailMessage mail;

    public void BuildAddress(string fromAddr, string
toAddr)
    {
        MailAddress from = new MailAddress(fromAddr);
        MailAddress to = new MailAddress(toAddr);
        mail = new MailMessage(from, to);
    }

    public void BuildText(string cryptoMessage)
    {
        mail.IsBodyHtml = false;
        mail.Body = cryptoMessage;
    }

    public void BuildTheme(string text)
    {
        mail.Subject = text;
    }

    public MailMessage GetResult()
    {
        return mail;
    }
}

```

В нём содержатся методы:

- BuildTheme — метод добавляющий заголовок в письмо
- BuildText — метод вставляющий текст в письмо
- BuildAddress — метод вставляющий адреса отправителя и получателя
- GetResult — метод возвращающий в качестве аргумента письмо по заданным параметрам

Примеры работы программного обеспечения

Рассмотрим пример с использованием разработанного программного обеспечения. Напишем программу реализующую данную библиотеку.

```

using System;
using unit;
using mail;

class program
{
    public static void Main(string[] args)
    {
        MessageSender mess1 = new MessageSender(new
MessageBuilder());
        Console.WriteLine(«Write Key»);
        string key = Console.ReadLine();

```

```

Console.WriteLine(«Input new Message»);
string message = Console.ReadLine();
AESCrypto crypto = new AESCrypto(key,message);

message = «»;

foreach(byte i in crypto.Cypher)
{
    message+= i.ToString() + «#»;
}

mess1.CreateMessage(«basta548@gmail.
com»,»artem.mukh@gmail.com»,message,»Hello guys»);
while(true)
{
    Console.WriteLine(«Input password»);
    string pass = Console.ReadLine();
    try{
        mess1.SendMessage(«smtp.outlook.
com»,587,»basta548@gmail.com»,pass);//Проверка дан-
ных по паролю
        break;
    }
    catch
    {
        Console.WriteLine(«Error, try again»);
    }
}
Console.WriteLine(«Email Send»);

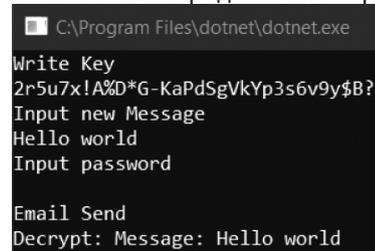
Console.Write(«Decrypt: <»);
AESCrypto decrypt = new AESCrypto(key,AESCrypto.
stringToByteAES(message));
Console.WriteLine(«Message: {0}»,decrypt.Message);

Console.ReadKey(true);
}
}

```

Пример выполнения программы

Результат выполнения представлен на рис. 5.



```

C:\Program Files\dotnet\dotnet.exe
Write Key
2r5u7x!A%D*G-KaPdSgVkJp3s6v9y$B?
Input new Message
Hello world
Input password
Email Send
Decrypt: Message: Hello world

```

Рис. 5. Результат выполнения программы

Из приведенного примера видно, что программа выполнила отправку Email.

При этом если мы зайдём на почтовый клиент, в нашем примере мы отправляли сообщение на Gmail, оно

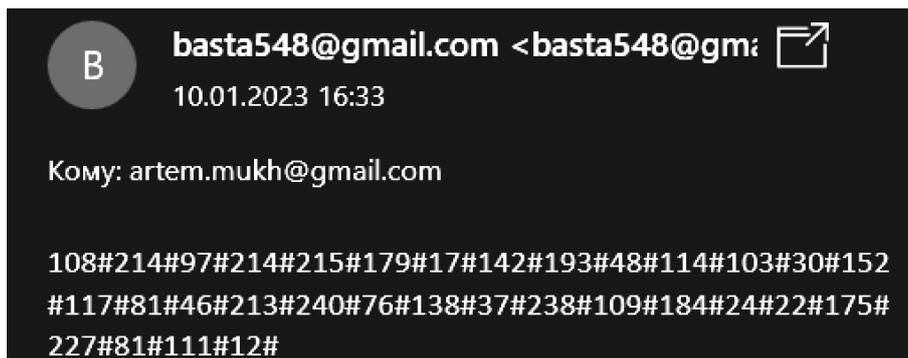


Рис. 6. Вид хранения данных на сервере

будет храниться на сервере в зашифрованном виде
Рис. 6.

Выводы

В результате проведённой работы были создана библиотека, используя, которую без установки дополнительных надстроек на существующую информационную

систему предприятий, можно реализовать зашифрованную переписку, между двумя и более устройствами. Данная библиотека предназначена для установки на конечные персональные устройства пользователей. Благодаря алгоритму шифрования AES256 дешифрование данных без ключа, практически невозможна, что позволит обеспечить необходимый уровень конфиденциальности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Описание алгоритма AES // studbooks URL: https://studbooks.net/2088709/informatika/opisanie_algorithma. (дата обращения: 04.01.2023).
2. Алгоритм выбора раундового ключа // leksii URL: <https://leksii.org/3-32204.html> (дата обращения: 04.01.2023).
3. Что такое SMTP-протокол и как он устроен? // selectel URL: <https://selectel.ru/blog/smtp-protocol/> (дата обращения: 04.01.2023).
4. Таненбаум Э.С., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. — 5-е изд. изд. — СПб: Издательский Дом ПИТЕР, 2019. — 960 с.
5. Таненбаум Э.С., Уэзеролл Д. Архитектура компьютера. — 6-е изд. изд. — СПб: Издательский Дом ПИТЕР, 2018. — 816 с.
6. .NET // Microsoft-Learn URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/> (дата обращения: 04.01.2023).
7. AES шифрование и Android клиент // Habr URL: https://habr.com/ru/company/rambler_and_co/blog/279835/ (дата обращения: 04.01.2023).
8. Криптоалгоритмы. Классификация с точки зрения количества ключей // habr URL: <https://habr.com/ru/post/336578/> (дата обращения: 04.01.2023).
9. Smtplib Класс // Learn Microsoft URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.net.mail.smtplib?view=net-7.0> (дата обращения: 04.01.2023).
10. System.Security.Cryptography Пространство имен // Learn Microsoft URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.security.cryptography?view=net-7.0> (дата обращения: 04.01.2023).

© Мухортов Артём Александрович (Artem.mukh@gmail.com); Корягин Сергей Викторович (dongenealog2003@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ВЕДЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО НАБЛЮДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ

ELECTRO-OPTICAL OBSERVATION WITH UAVS AND OPTIMIZATION OF APPLICATION POSSIBILITIES

**R. Nabiyev
A. Abdullayev**

Summary. The article presents a final analysis of the conditions for using unmanned aerial vehicles and the results obtained from their application in successfully completing tasks related to search and rescue operations, as well as the observation of strategic objects. The importance of applying advanced technologies in responding swiftly during emergencies, the activities of the team, and determining deployment positions has been substantiated, emphasizing and highlighting the necessity of using unmanned aerial vehicles. It is researched hereby, how unmanned aerial vehicles operate in complex and challenging conditions through the application of technological innovations based on the current operational task.

It has been highlighted that the currently available multirotor, glider, and VTOL-based unmanned aerial vehicles, categorized by weight and size as nano, micro, mini, small, medium, and large, are utilized as primary and auxiliary elements for the digitalization of the integrated use of forces and resources during various international and local search-and-rescue missions, as well as other special tasks and for the integration of the process with artificial intelligence solution. It has been noted that this also plays an important role in the successful completion of the intended operation.

The article also mentions that drones are widely used in aerial reconnaissance and search and rescue missions, in delivering medicines and essential goods to provide medical assistance to the required point within flight restrictions, as well as in monitoring the territory in emergency situations.

Keywords: unmanned aerial vehicles, surveillance, optimization, electro-optical camera, artificial intelligence.

Набиев Расим Насиб оглу

*Доктор технических наук, профессор, начальник
отдела Авиационной Электроники Института
Транспорта и Авиакосмических Проблем Национальной
Авиационной Академии Азербайджана, г. Баку
nabiyevrasim@gmail.com*

Абдуллаев Анар Ариф оглу

*Кандидат физико-математических наук, докторант
отдела Авиационной Электроники Института
Транспорта и Авиакосмических Проблем, Национальная
Академия Авиации Азербайджана, г. Баку
anarcafarov09@mail.ru*

Аннотация. В статье анализируются условия использования беспилотных летательных аппаратов для успешной реализации поставленных задач в направлении поиска и спасения, а также наблюдения за стратегически важными объектами и полученные в результате их применения данные. Обосновывается значение гибкого реагирования на чрезвычайные ситуации, деятельности экипажа, а также применения передовых технологий при определении позиций, подчеркивается важность использования беспилотных летательных аппаратов. Исследуется работа беспилотных летательных аппаратов в сложных и трудных условиях с применением технологических инноваций на основании текущей оперативной задачи.

Отмечено, что доступные в настоящее время дроны, планеры и беспилотные летательные аппараты с системой VTOL (вертикального взлета и посадки) малого, среднего и большого размера, делящиеся по весу и размеру на нано-, микро- и мини-мультироторные, планерные и беспилотные летательные аппараты с системой VTOL, используются в качестве ключевого и вспомогательного элемента для цифровизации комплексного применения сил и инструментов в ходе исполнения многочисленных международных и локальных поисково-спасательных, а также иных специальных операций, интеграции процесса в решение с искусственным интеллектом. Также отмечено, что это играет важную роль в успешном завершении указанных мер. В статье также отмечается широкое применение беспилотных летательных аппаратов при выполнении воздушной разведки и поисково-спасательных операций, доставке лекарств и предметов первой необходимости для оказания медицинской помощи в необходимые точки в условиях ограниченных полетов, а также для мониторинга местности в чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, наблюдение, искусственный интеллект, оптимизация, электронно-оптическая камера.

Введение

Возможность контролировать территорию с помощью электронно-оптической полезной нагрузки (ПН), установленной на дистанционно управляе-

мые беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и передавать это видеоизображение на большие расстояния в случаях, когда наблюдение человеком невозможно или затруднено, обусловила большие преимущества этого типа летательных аппаратов [1–3].

Развитие технологий приема, обработки и передачи информации, а также цифровых технологий и искусственного интеллекта привело к значительному улучшению качества изображения, скорости и объема его передачи, а также передаче на большие расстояния. Вместе с тем цифровые технологии имеют свои недостатки, влияющие на эффективность их использования в разведывательной и наблюдательной системах. Электронно-оптические системы, устанавливаемые на дронах, используются, в основном, в следующих целях:

- ведение воздушной электронно-оптической разведки;
- (наблюдения) и передача изображений в реальном времени на пункт управления для контроля оперативной обстановки в интересующем районе;
- получение детальных видеоизображений входящего в круг интересов объекта или района, а также местности, участка и объектов, над которыми осуществляется патрульно-наблюдательный полет;
- в целях получения фото- или видеоизображений объектов, находящихся на местности и визуальное наблюдение которых невооруженным глазом невозможно, измерения расстояния до цели, обеспечения лазерного наведения (подсветки).

Технически электронно-оптические ПН крепятся либо как единая система непосредственно к корпусу самолета посредством собственной конструкции, либо через гироскопически стабилизированную (гиростабилизированную) регулируемую платформу [4–6]. Такая гиростабилизированная система позволяет вращать и управлять электронно-оптической ПН в любом направлении с заданной скоростью. Устойчивая связь конструкции летательного аппарата с осью у ПН и возможность вращения на 360° создают основу для получения стабильных и качественных фото- и видеоизображений высокого разрешения.

Фотоаппараты и электронно-оптические устройства в основном используются для получения изображений передней или остальных сторон дистанционно управляемого летательного аппарата. Для этого при планировании полета наряду с метеорологическими ограничениями следует учитывать высоту полета, влажность воздуха, угол видимости и азимут. Также в зависимости от сезона необходимо строго контролировать угол падения солнечных лучей во время съемки и поворот ПН в сторону шасси летательного аппарата [7, 8].

Применение оптических приборов позволяет решить многие задачи. Известно, что вес и цена такого типа устройств увеличиваются в зависимости от расстояния до цели и качества получаемого изображения наблюдаемой местности (высокое разрешение). Для до-

стижения качественного результата необходимо соблюдение строгих технических требований по стабилизации летательного аппарата во время аэросъемки. Оптические системы без стабилизации на низком уровне поддерживают сопровождение и наблюдение цели методом «наведения». А при попытке внедрения этого режима возникает множество ограничений и трудностей. Более выгодны оптические приборы, размещенные на гиростабилизированных платформах [9, 10]. Специалистами накоплен значительный практический опыт применения данного типа устройств.

Во время полета оптические приборы с гиростабилизированными платформами обеспечивают сопровождение как неподвижной, так и движущейся выбранной цели. Интеграция дневной (ТВ), тепловизионной и инфракрасной (ИК) камеры в одну платформу позволяет получить высокоинформативное изображение. Что гарантирует обработку и преобразование полученного видео- и фотоизображения в аналоговый или цифровой сигнал. Это также позволяет точно определять координаты цели с помощью технологии лазерного дальномера на гиростабилизированной платформе [11]. Если электронно-оптическая ПН дополнительно комплектуется лазерной головкой для наведения управляемых по лазерному лучу ракет и бомб с использованием лазерного генератора (источника энергии), то это увеличивает её вес, стоимость и эффективность.

Цель работы

Оптимизация электронно-оптического наблюдения с помощью беспилотных летательных аппаратов.

Разрешающая способность электронно-оптических систем

Под разрешающей способностью цифровой электронно-оптической системы понимается способность этой системы формировать уровень детализации получаемых изображений объектов, расположенных на заданном расстоянии от объектива. Основным фактором, определяющим разрешающую способность электронно-оптических систем, является матрица CCD (*charge-coupled device*, ПЗС — прибор с зарядовой связью), преципирующая полученное изображение после объектива [12, 13].

Источником данных изображения является поверхность земли или воздушное пространство. Угол поля зрения объектива определяет объем информации [14]. Он оказывает сильное влияние на съемки с поверхности земли и воздушного пространства и коэффициент разрешения устройства. Следует отметить, что изображение, выводимое на экран, различается в зависимости от физического состава и цвета просматриваемой обла-

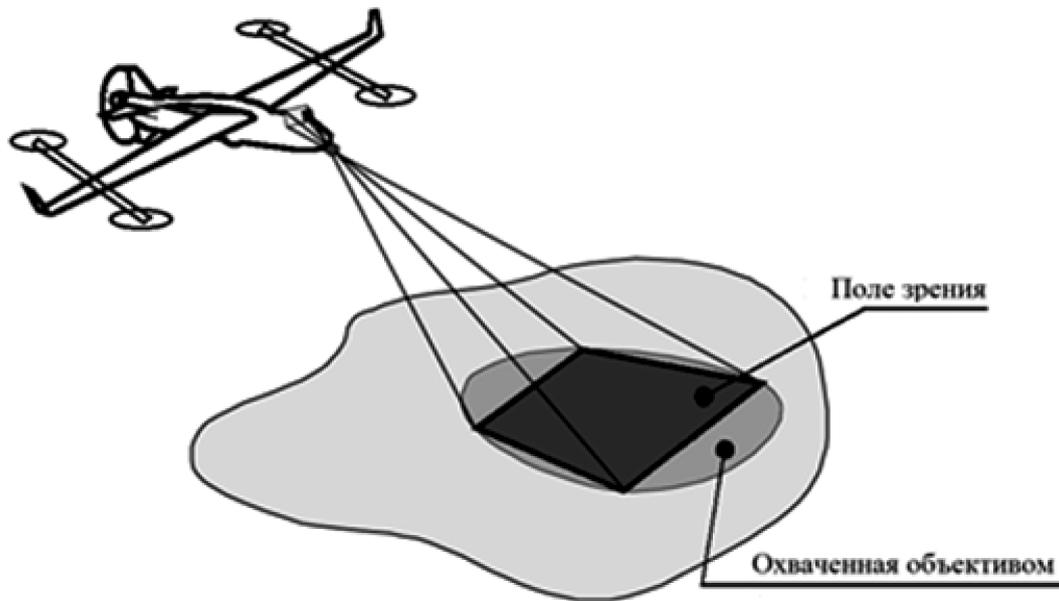


Рис. 1. Поле зрения, формируемое объективом электронно-оптической системы

сти, а также от разницы между изображением на экране и фактическими линейными размерами объектов на земле.

На рисунке 1 показано поле зрения, формируемое объективом электронно-оптической системы. Размеры поля зрения зависят от высоты полета дрона, угла обзора объектива и угла наклона оптической оси объектива.

Из рис. 1 видно, что рассматриваемая область имеет геометрическую форму, физически близкую к трапеции. В качестве первого подхода при расчетах можно использовать вероятность низкой корреляции.

$$\delta = \frac{l}{R_{земля}} \gg 0.0003 \quad (1)$$

Где l — длина, равная наибольшему линейному размеру рассматриваемой области, $R_{земля}$ — средний радиус Земли. Из-за наклонного характера поверхности земли кривые (горы и долины) при расчетах принимаются за плоскости. Таким образом, на эффективность применения электронно-оптической системы существенное влияние оказывает тот факт, что реальный вид поверхности Земли не имеет плоскую, ровную поверхностную структуру. Электронно-оптическая ПН беспилотника предназначена для выполнения конкретных функций. Поэтому оценивание электронно-оптических ПН осуществляется на основе поиска, сопровождения типовых объектов, измерения разрешения полученного изображения и пр. возможностей с применением беспилотника [15, 16].

Одним из основных параметров, позволяющий определить необходимую высоту полета в зависимости от возможностей электронно-оптической системы, уста-

новленной на БПЛА, является коэффициент заполнения (рис. 2):

$$K_{doldurma} = \frac{F_{цель}}{F} \quad (2)$$

$F_{цель}$ — площадь целевой зоны, F — площадь зоны обзора (наблюдения).

Величина, указывающая, во сколько раз необходимо увеличить поле зрения, чтобы выбранный объект (цель) был виден и отслеживался на мониторе наблюдения, называется коэффициентом заполнения.

Размер матрицы ПЗС существенно влияет на разрешение изображения, получаемого электронно-оптическим прибором. Так, размер матрицы ПЗС определяет уровень разрешения изображения, поступающего с оптического объектива. Чем больше размер матрицы, тем выше уровень выбора и детализации изображения на экране системы. Для достижения разрешения изображения новой цифровой электронно-оптической системы, близкого к оптической разрешающей способности объектива, необходимо либо иметь очень большую матрицу ПЗС, либо уменьшить угол зрения. Разрешающая способность цифровой электронно-оптической системы (объектив — матрица ПЗС — экран) определяется группой параметров в зависимости от возможности увеличения изображения на экране.

$$R^- = f(L, \beta, \gamma, \varphi, M) \quad (3)$$

Здесь, L — наклонное расстояние до точки на поверхности земли, (β, γ, φ) — изменение угла наблюдаемой точки от оптической оси вправо и влево, вверх и вниз,

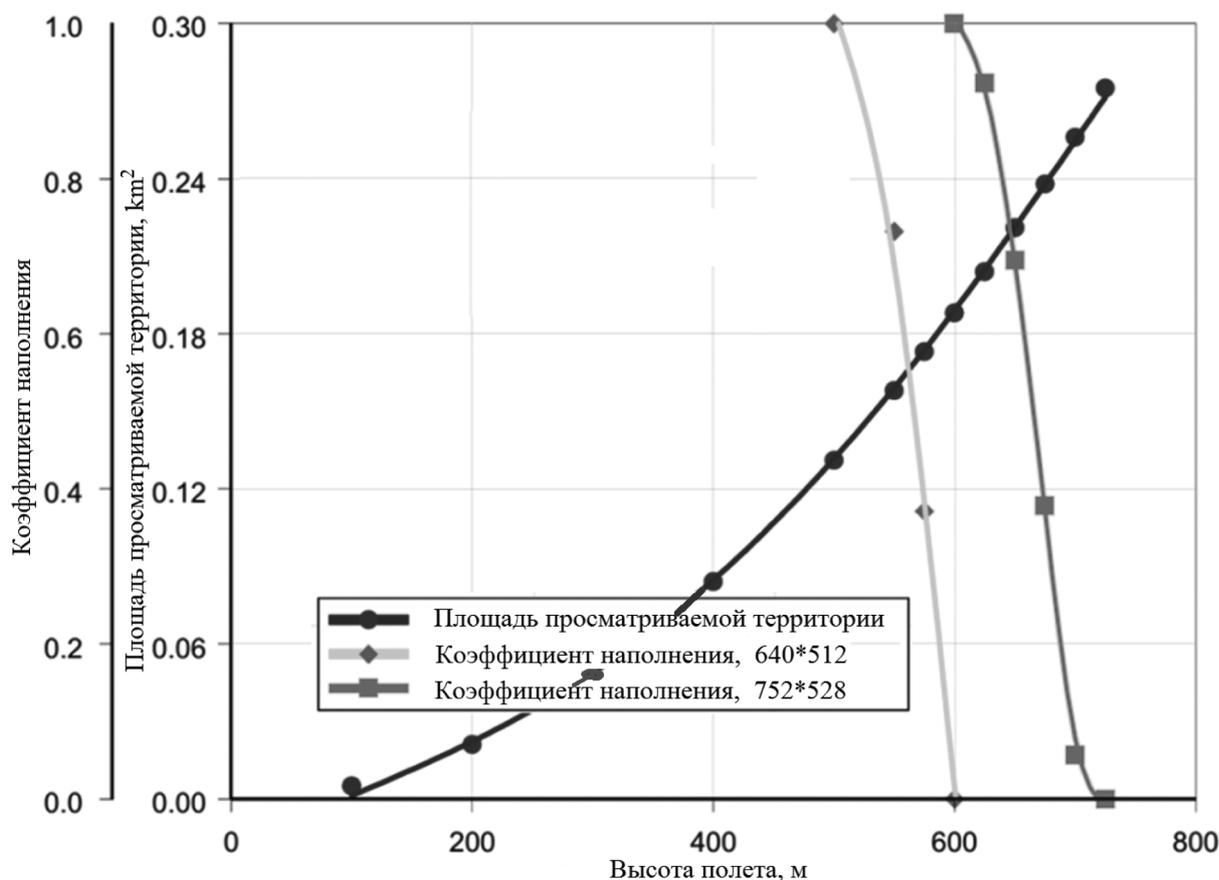


Рис. 2. График зависимости коэффициента наполнения от высоты полета

а также угол наклона оптической оси в нормальной системе координат, M — размер матрицы ПЗС.

Для оценки разрешающей способности цифровой электронно-оптической системы можно использовать изображения объектов, характерных для поиска с помощью дрона.

Продемонстрировать разрешающие возможности электронно-оптической системы можно, рассмотрев соответствующего графического проекта человека на примере объекта «Человек». Размеры проекции совмещены с проекцией матрицы и показаны в виде соответствующей поверхности. В зависимости от размера проекции элемент может иметь размеры в миллиметрах, сантиметрах и метрах матрицы ПЗС по количеству «пикселей» (точек). По этой причине при максимальном увеличении изображения цели «Человек» можно увидеть столько точек, сколько позволяет разрешение [14].

Наблюдение с помощью БПЛА при организации охранных работ

Фактор времени имеет большое значение при стихийных бедствиях, чрезвычайных ситуациях и поисково-спасательных операциях. Применение беспилотника

при проведении спасательных операций повышает уровень эффективности и безопасности поиска (наблюдения), а также сокращает время спасательных работ.

Ключевым подходом при проведении поисково-спасательных операций является правильное планирование маршрута БПЛА и алгоритма наблюдения. На практике для этих целей иногда могут быть использованы принципы выживания, толпы, стадности и пр. [12].

В сценарии с толпой мы можем просто разделить объекты на два типа: дроны и ученики. В этом случае дроны направляют толпу к месту назначения с помощью крика, управления, светофора и пр. Управляющий дрон отслеживает поведение толпы на протяжении всего процесса и обеспечивает ее движение по запланированному маршруту. Дроны для автономной навигации постепенно заменяют модераторов-контролеров.

Чтобы не допустить травмирования учащихся на экстремальных дорогах и в опасных ситуациях, предусматривается использование беспилотников в рамках планирования маршрутов и в возможных спасательных операциях. Для решения этих задач предлагается использовать возможности наведения и поведения беспилотника путем повторения «ориентировочных»

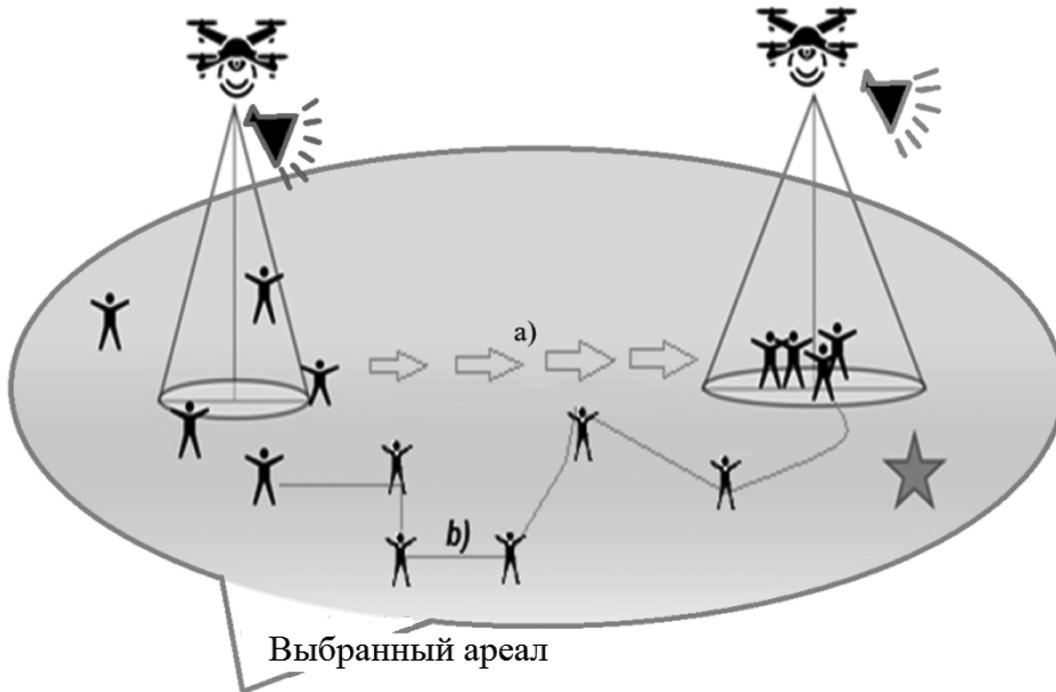


Рис. 3. Сценарии спасения с использованием дронов

движений в полете в направлении «вперед-назад» или «влево-вправо», а также команды «стоп» при зависании в воздухе (рисунок 3) [17-20]. Таким образом, смоделировав в экстремальных случаях аналогичные как в случае с учениками действия, можно уравнивать две проблемы, рассматривая точку эвакуации или безопасную зону как открытую область. При планировании маршрута в безопасную зону была предпринята попытка решить проблему наблюдения и обозрения спасаемых целей путем ее преобразования в задачу, сочетающую эвакуацию и спасение с мониторингом динамики целей (маршрут на рис. 3 а).

Используя модель программного обеспечения искусственного интеллекта, можно описать уравнения динамики толпы людей на основе правила Рейнольдса. Это правило может быть использовано при моделировании жертв катастроф.

Единичные векторы $N_d^-, N_L^-, N_r^-, N_i^-, N_e^-$ характеризуют силу удара по точке сбора учащихся с помощью звукового дрона. Таким образом, сила удара r_a других учащихся, находящихся в это время в этой области, по направлению к центру является инерционной силой движения остальных учащихся относительно других и шумовым элементом учащихся. Затем определяется вектор направления движения учащихся N^- :

$$N^- = \mu_d N_d^- + \mu_L N_L^- + \mu_r N_r^- + \mu_i N_i^- + \mu_e N_e^- \quad (4)$$

Здесь, $\mu_d, \mu_L, \mu_r, \mu_i, \mu_e$ — весовые константы.

Групповое поведение толпы в чрезвычайных ситуациях основывается на четырех основных принципах:

- избегание столкновений;
- координация скорости с другими находящимися поблизости участниками;
- стремление соседних членов быть ближе к центру;
- уклонение от опасности.

Дрон определяет позицию, чтобы в кратчайшие сроки минимизировать расстояние между школьниками и пунктом сбора. Для направления целевых школьников вдоль границы расширенной области в обозначенные точки в центре этой области выбираются оптимальные позиции для дрона или дронов. Эти точки называются точками направления, где учащиеся эффективно собираются в пределах соответствующей расширенной области, и которые дроны могут наблюдать.

На втором этапе для направления наблюдаемых учащихся в назначенные зоны используются оснащенный системой акустической трансляции БПЛА, который издает голосовые команды, а также команды движения БПЛА. С этой целью может быть внедрен алгоритм планирования маршрута, основанный на многоцелевой оптимизации для поисково-спасательных задач (рис. 3 б).

Планирование исследовательской задачи делится на несколько уровней: поиск цели и получение оптимального маршрута путем установления пути сообщения, который минимизирует время достижения этой цели. Здесь с помощью беспилотника создается оптимальный

путь связи с целью, и летательный аппарат направляется в оперативную зону для выполнения спасательных работ наземного персонала. Могут быть предложены инновационные алгоритмы, настраиваемые на расстоянии, соответствующем сфере охвата наблюдения или возможной поддерживаемой линии связи, которые могут быть эффективны во время поисково-спасательных операций. Данная исследовательская работа доказывает осуществимость такого алгоритма [12, 21–24].

Организация наблюдения во время мониторинга и поисково-спасательных работ в чрезвычайных ситуациях, возникающих на море или в прибрежных водах, осуществляется в соответствии с вышеуказанной моделью деятельности. В этом случае для выявления изменений при поиске на большой площади необходимо определить точные периметры местности, чтобы существенно сократить потребление ресурсов БПЛА. Оптимизация исследования позволяет получить определенные результаты, что имеет большое значение при решении БПЛА поисково-спасательных наблюдательных задач.

При выполнении поисково-спасательных и контрольно-наблюдательных задач на море с использованием дронов вблизи побережья предлагается, чтобы управление дроном осуществлял оператор с наземного пункта управления, расположенного на побережье. Использование дронов при выполнении указанных задач на судах, плавающих в морских водах, неэффективно (изменение координат взлета при возвращении дрона домой из-за движения судна, отсутствие резервной площадки на случай аварийной посадки, резкие порывы ветра и высокая влажность воздуха в открытом море и пр.).

Поскольку быстрые и эффективные поисково-спасательные операции на море имеют первостепенное значение, применение базирующихся на судах беспилотников типа VTOL показало высокую эффективность. Так, доказана целесообразность использования беспилотников типа VTOL, не требующих взлетно-посадочной полосы в море и имеющих гибридные энергетические системы, для контроля нефтегазовых платформ и трубопроводов, охраны границ, обнаружения и предотвращения контрабанды и при выполнении пр. задач [25].

Также возможности БПЛА по передаче данных в режиме реального времени и данные, полученные в результате визуального наблюдения с помощью электронно-оптического прибора, широко используются при управлении особо важными скоординированными операциями и принятии быстрых решений. Так, доказана неизбежность использования БПЛА при решении аналогичных задач, требующих от правоохранительных органов выполнения специальных задач, наблюдения за требующими разрешения оперативными мероприя-

тиями, отслеживания подозрительных лиц и действий, поддержания общественного порядка и оказания экстренной помощи.

Для обеспечения быстрого и оперативного реагирования при решении задач правоохранительных органов необходимо оперативное видеонаблюдение, которое требует широкого охвата пространства наблюдения для обеспечения данными из оперативной зоны в режиме реального времени. В этом случае предлагается разработать схему секторизации контролируемой территории с целью оптимизации динамического наблюдения в пределах размеров оперативного района или сектора наблюдения в зависимости от наблюдательных и разведывательных возможностей используемого дрона.

Для проведения комплексного поиска и наблюдения по интересующему маршруту на территории размещается необходимое количество беспилотников. Помимо контрольно-наблюдательных возможностей, предоставляемых беспилотниками во время городских оперативных мероприятий, они широко используются для патрулирования и контроля инцидентов, происходящих на автомагистралях. Так, возможность реверсировать съемку, полученную с помощью беспилотников, в целях оказания авиационной поддержки, информирования, анализа происшествий и пр. ещё больше увеличивает потребность в них [12, 26].

Поскольку возможности применения дронов прямо пропорциональны продолжительности полета, скорости полета и функциональным возможностям электронно-оптической камеры, существуют различные подходы к решению задачи контроля движущихся целей с помощью БПЛА. В этом случае применение по своему весу и размерам микро- и планеров более высокого класса, а также БПЛА типа VTOL позволяет производить полёт на больших высотах и вести наблюдение за большей территорией. С помощью ПН с электронно-оптическими возможностями (сопровождением с наведением, лазерным дальномером, дневной и ночной тепловизионной камерой, лазерным наведением) можно достичь цели. Кроме того, наблюдение с большой высоты может иметь преимущество, заключающееся в снижении вероятности визуального и акустического обнаружения (скрытность).

Применение дронов имеет большое значение для успешного завершения специальных задач с сохранением скрытности и конфиденциальности. Предлагается реализовать алгоритм скрытного наблюдения путем максимально частого и резкого изменения угла наблюдения и расстояния между дроном и целью. В этом случае дрон управляется на разумном расстоянии от цели, то есть на таком расстоянии, на котором цель не может его обнаружить, даже если будет искать глазами. Также

возможно обеспечить высококачественное наблюдение при динамическом подходе, удерживая дрон над целью или кружа вокруг нее на оптимальной высоте в режиме «захвата» [27].

Важная работа по совершенствованию организации мероприятий по наблюдению с использованием БПЛА

Чаще всего выполнение специальных задач, наблюдение за стратегическими объектами, проведение поисково-спасательных и мониторинговых мероприятий в чрезвычайных ситуациях с помощью беспилотников осуществляются в простых метеорологических условиях и в благоприятной для наблюдения обстановке. Возникает необходимость использования беспилотников с более стабильными техническими характеристиками и безопасностью полетов для ведения наблюдения в городских, морских, сложных по рельефу (горных) районах и прочих условиях эксплуатации [28-31].

С целью обеспечения автономности, навигации и надежной связи в сложной обстановке требуется дополнительная инфраструктура. Для выполнения задач с использованием БПЛА в ходе оперативного планирования или в кризисных ситуациях (ограниченные энергетические ресурсы БПЛА, отсутствие устойчивой навигации и связи в воздухе в закрытых и открытых условиях, а также в условиях радиоэлектронной борьбы, диапазон видимости для визуального наблюдения и лазерное наведение) требуются высокоаналитические расчеты. В целях решения этих задач предлагается использовать БПЛА или дроны с более высокими тактико-

техническими и летно-техническими характеристиками, усовершенствованной системой управления полетом и алгоритмами управления. Основными ограничениями являются энергоёмкость аккумуляторных батарей, используемых в качестве источников питания в БПЛА, и лимиты времени полета [8-10].

В целом, необходимо уделить внимание охвату возлагаемых на дроны задач по поиску и спасению, мониторингу, а также наблюдению за стратегическими объектами, непрерывному выполнению операций, получению более совершенных возможностей с применением систем в чрезвычайных ситуациях, выносливости и надежности систем дронов, а также потенциалу расширения с будущим развитием систем.

Заключение

1. При выборе электронно-оптической системы для беспилотного летательного аппарата необходимо тщательно учитывать её назначение, задачи и области применения;
2. Наличие на борту беспилотных летательных аппаратов самой современной электронно-оптической системы не гарантирует ее успешного применения на практике и высокого КПД;
3. Использование нано-, микро— и мини-беспилотных летательных аппаратов не считается целесообразным при выполнении задач по наблюдению, поиску и разведке на больших территориях;
4. Высока вероятность достижения успешного результата при наблюдении с помощью беспилотного летательного аппарата за целью с заранее известными координатами.

ЛИТЕРАТУРА

1. R.N. Nabiyeu, G.I. Garayev and A.A. Abdullayev. Conceptual functional design of hybrid energy source of unmanned convertiplane. Proceedings of the IOP Conference Series: Conference Scopus. Materials Science and Engineering. 862, 022043, 2020, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/2/022043>
2. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev and G.I. Garayev. Structural drafting of convertiplane-type unmanned aerial vehicle. Norwegian Journal of development of the International Science, №94, 2022, pp. 45–51, <https://doi.org/10.5281/zenodo.7198424>
3. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev and G.I. Garayev. (2024) On-board control-measurement system for micro convertiplane-type unmanned aerial vehicles. Eurasian Physical Technical Journal. 21, 2(48), 61–69. <https://doi.org/10.31489/2024No2/61-69>
4. A.A. Abdullayev. Flight study of VTOL micro UAV in different flight modes with on-board control-measurement system. International Conference on Artificial intelligence: from theory (AICON-2024), 17–18 September 2024, Nakhchvan, Azerbaijan. pp. 271–277. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14031849>
5. Nabiyeu R.N., Abdullayev A.A., Garayev G.I. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies (EMMFT-2024) E3S Web of Conf. Volume 592, 06024 (2024), DOI: 10.1051/e3sconf/202459206024
6. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev, et al. Determination of the center of gravity of an unmanned aerial vehicle of a tiltrotor type. Izvestiya SfedU. Engineering sciences, № 5 (229), 2022, pp.258–268, DOI 10.18522/2311-3103-2022-5-258-268
7. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev, et al. Requirements for unmanned aerial vehicles on multi-rotational basis. Journal Aerospace Instrument-Making, M. 2018. № 9, pp. 3–11, DOI: 10.25791/aviakosmos.09.2018.166
8. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev, et al. Comparative analysis the features of the lithium-based accumulator batteries. Journal Aerospace Instrument-Making, M. № 9. 2019, pp. 42–55. DOI: 10.25791/aviakosmos.09.2019.867
9. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev and G.I. Garayev. Analysis of the features of hydrogen as an energy source. Journal Aerospace Instrument-Making, M. 2021. № 3. pp. 41–58. DOI: 10.25791/aviakosmos.3.2021.1211
10. R.N. Nabiyeu, A.A. Abdullayev and G.I. Garayev. Processing a Conceptual Functional Diagram of an Unmanned Convertiplane With a Hybrid Energy Source. Journal Aerospace Instrument-Making, M. №5. 2021, pp. 03-18, DOI: 10.25791/aviakosmos. 5.2021.1217

11. R.N. Nabiyeв and A.A. Abdullayeв. Research of the basic aerodynamic parameters of the unmanned aircraft planer of convertoplan type. *Journal Aerospace Instrument-Making*, M. № 4, 2022, pp. 17–33, DOI: 10.25791/aviakosmos.4.2022.1274
12. Fang, Z.; Savkin, A.V. Strategies for Optimized UAV Surveillance in Various Tasks and Scenarios: A Review. *Drones* 2024, 8, 193. <https://doi.org/10.3390/drones8050193>
13. Maddern W., Pascoe G., et.al. Real-time Kinematic Ground Truth for the Oxford RobotCar Dataset.
14. Rastopcин V.V., Dmitriev M.L. Primenenie cifrovix opticeskix sistem dlya bespilotnix apparatov. http://uav.ru/articles/opteq_uav.pdf.
15. Rastopcин V.V. Elementernie osnovie ocenki effektivnosti primeneniya bespilotnix avioconnix sistem dlya vozdushnoy razvedki: www.uav.ru, 2006. 15 c.
16. E.Evgeniy. Bespilotnie letetelnoe apparati i zashita granic. <http://uav.ru/articles/granitsa.pdf>.
17. D.Magdalena and T. Piotr et.al. Hybrid Fuel Cell — Battery System as a Main Power Unit for Small Unmanned Aerial Vehicles (UAV). *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8 (2013) 844–8463.
18. Gailler, L.; Labazuy, P.; et.al. Validation of a New UAV Magnetic Prospecting Tool for Volcano Monitoring and Geohazard Assessment. *Remote Sens.* 2021, 13, 894. <https://doi.org/10.3390/rs13050894>
19. Evans, I.; Jones, T.H.; Pang, K.; et.al. Use of drone technology as a tool for behavioral research: A case study of crocodylian nesting. *Herpetol. Conserv. Biol.* 2015, 10, 90–98.
20. M. Hassanalian, D. Rice, A. Abdelkefi. Evolution of space drones for planetary exploration: A review. *Progress in Aerospace Sciences* 97 (2018), 61–105 p.
21. Linchant, J.; Lisein, J.; et.al. Are unmanned aircraft systems (UAS s) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mammal Rev.* 2015, 45, 239–252.
22. Groves, P.A.; Alcorn, B.; Wiest, et.al. Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys. *Facets* 2016, 1, 187–204. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0019>
23. Chio, S.H.; Lin, C.H. Preliminary Study of UAS Equipped with Thermal Camera for Volcanic Geothermal Monitoring in Taiwan. *Sensors* 2017, 17, 1649. <https://doi.org/10.3390/s17071649>
24. Wakeford, Z.E.; Chmielewska, M.; et.al. Combining thermal imaging with photogrammetry of an active volcano using UAV: An example from Stromboli, Italy. *Photogramm. Rec.* 2019, 34, 445–466. <https://doi.org/10.1111/phor.12301>
25. Hodgson, J.C.; Koh, L.P. Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research. *Curr. Biol.* 2016, 26, R404–R405.
26. Huang, H.; Savkin, A.V.; Huang, C. *Autonomous Navigation and Deployment of UAVs for Communication, Surveillance and Delivery*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2022.
27. S. Joachim. Lehrstuhl für Luftfahrtsysteme. «Hybrid-Electric Propulsion Systems for Small Unmanned Aircraft». Die Dissertation wurde am 12.12.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 11.07.2014 angenommen. 2013, 188 p.
28. R.N. Nabiyeв and A.A. Abdullayeв. Optimizaciya nablyudatelnix vozmojnostey БнЛА. *Estestbennie i texniceskie nauki. M.* №2 (201), 2025, pp. 258–268, <https://doi.org/10.25633/ETN.2025.02.19>
29. Wich, S., Dellatore, D. et.al. A preliminary assessment of using conservation drones for Sumatran orang-utan (*Pongo abelii*) distribution and density. *J. Unma. Veh. Syst.* 2015, 4, 45–52. <https://doi.org/10.1139/juvs-2015-0015>
30. Abdullayeв, A. Flight study of VTOL micro UAV in different flight modes with on-board control-measurement system. *International Conference on Artificial intelligence: from theory (AICON-2024)*, 17–18 september 2024, Nakhchvan, Azerbaijan. pp. 271–277. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14031849>

© Набиев Расим Насиб оглу (nabiyevrasim@gmail.com); Абдуллаев Анар Ариф оглу (anarcafarov09@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МОДЕЛИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ И РАЗВИТИИ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ ХОЛДИНГОВЫХ КОМПАНИЙ

MODELS OF MANAGEMENT PROCESSES WHEN BUILDING AND DEVELOPING AN IT-INFRASTRUCTURE OF HOLDING COMPANIES

**F. Nevolin
O. Romashkova
S. Chiskidov**

Summary. The article examines the key aspects of the organization of intellectual support for management decisions in the design and development of information technology (hereinafter IT) infrastructure of holding companies. Special attention is paid to ensuring high availability of IT services and prompt solution of problems of business users, which is critically important in the context of dynamically developing corporate structures. The authors emphasize the need to implement process-oriented approaches, such as incident and problem management, to minimize downtime and improve the quality of service. The study proposed a digital space model based on the IDEF0 and IDEF3 methodologies, which makes it possible to optimize the interaction between technical support staff and users. The implementation of this model is aimed at eliminating communication gaps, automating the processing of applications and forming a unified resource management system. The results of the work include designing a relational database in the third normal form, ensuring the integrity and transparency of processes across the holding company.

Keywords: IT-infrastructure, intelligent decision support systems, digital space, incident management, business processes, relational database, holding companies.

Неволин Филипп Дмитриевич

Аспирант, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет (МГПУ)»
fnevolin@mail.ru

Ромашкова Оксана Николаевна

Доктор технических наук, профессор, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (РАНХиГС)» г. Москва
ox-rom@yandex.ru

Чискидов Сергей Васильевич

Кандидат технических наук, доцент,
ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»
chis69@mail.ru

Аннотация. В статье исследуются ключевые аспекты организации интеллектуальной поддержки управленческих решений при проектировании и развитии информационно-технологической (далее ИТ) инфраструктуры холдинговых компаний. Особое внимание уделяется обеспечению высокой доступности ИТ-сервисов и оперативному решению проблем бизнес-пользователей, что является критически важным в условиях динамично развивающихся корпоративных структур. Авторы акцентируют внимание на необходимости внедрения процессно-ориентированных подходов, таких как управление инцидентами и проблемами, для минимизации времени простоя и повышения качества обслуживания. В рамках исследования предложена модель цифрового пространства, основанная на методологиях IDEF0 и IDEF3, позволяющая повысить эффективность взаимодействия между сотрудниками технической поддержки и пользователями. Реализация данной модели направлена на устранение коммуникационных разрывов, автоматизацию обработки заявок и формирование единой системы управления ресурсами. Результаты работы включают проектирование реляционной базы данных в третьей нормальной форме, обеспечивающей целостность и прозрачность процессов в масштабах холдинга.

Ключевые слова: ИТ-инфраструктура, интеллектуальные системы, поддержка управленческих решений, цифровое пространство, управление инцидентами, бизнес-процессы, реляционная база данных, холдинговые компании.

Введение

На сегодняшний день актуальность проблемы процесса построения развития информационно-технологической инфраструктуры в холдинговой компании обусловлена недостаточной коммуникацией и координацией между подразделениями холдинга, специализирующимися на разработке и внедрении цифровых продуктов и решений, несоответствие между стратегией холдинга и информационно-технологической инфраструктурой, также отсутствием единой системы

управления информационно-технологической инфраструктурой.

Анализ процессов предметной области

Для исследования предметной области необходимо проанализировать процессы, связанные с организацией взаимодействия службы технической поддержки с пользователями в холдинговой компании. Для этого использовалась программа CA ERWin Process Modeler [1], которую разработала компания Computer Associates.



Рис. 1. Контекстная диаграмма верхнего уровня

Представление бизнес-процессов ЦРК возможно с помощью таких методологий моделирования, как IDEF0, IDEF3 и DFD. На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма верхнего уровня функциональной модели.

На контекстной диаграмме верхнего уровня входными стрелками являются: Состояние склада компьютерного оборудования; Программное обеспечение и его свойства, Заявка на замену оборудования.

Выходными стрелками являются: Отчет по созданию заявок на ремонт; Отчет по состоянию, отчет по заявкам.

Далее центральный блок был детализирован.

Использование методологии IDEF0 для описания бизнес-процессов холдинговой компании позволило представить бизнес-процесс обработки заявок на техническую поддержку (ТП), как набор элементов — взаимосвязей между сотрудниками технического отдела и пользователями, а также ресурсов необходимых для осуществления деятельности [2].

Деятельность персонала отдела технической поддержки, направленная на организацию приема заявок

через встроенное программное обеспечение (ПО), представлена в виде прямоугольного блока. Входными стрелками для этого блока являются: состояние склада компьютерного оборудования, программное обеспечение и его свойства, заявка на замену оборудования, справочники, сведения о компьютерном оборудовании на складе. Выходные стрелки для этого блока: отчет по созданию заявок на ремонт, отчет по состоянию, отчет по заявкам, документ о принятом решении. Реализацию осуществляют: сетевые администраторы, системные администраторы, диспетчеры удаленного сопровождения, специалисты по безопасности, инженер технической поддержки [3].

На рисунке 2 представлена разработанная диаграмма декомпозиции центрального функционального блока контекстной диаграммы уровня А-0.

Деятельность отдела ТП, связанная с регистрацией и обработкой заявок, представлена следующими бизнес-процессами: «Подготовить рабочее место сотрудника», «Зарегистрировать заявку на техническое обслуживание», «Обработать заявку на ТО».

В отдел ТП поступает запрос на подготовку рабочего места для сотрудника. Для обработки запроса сотрудник

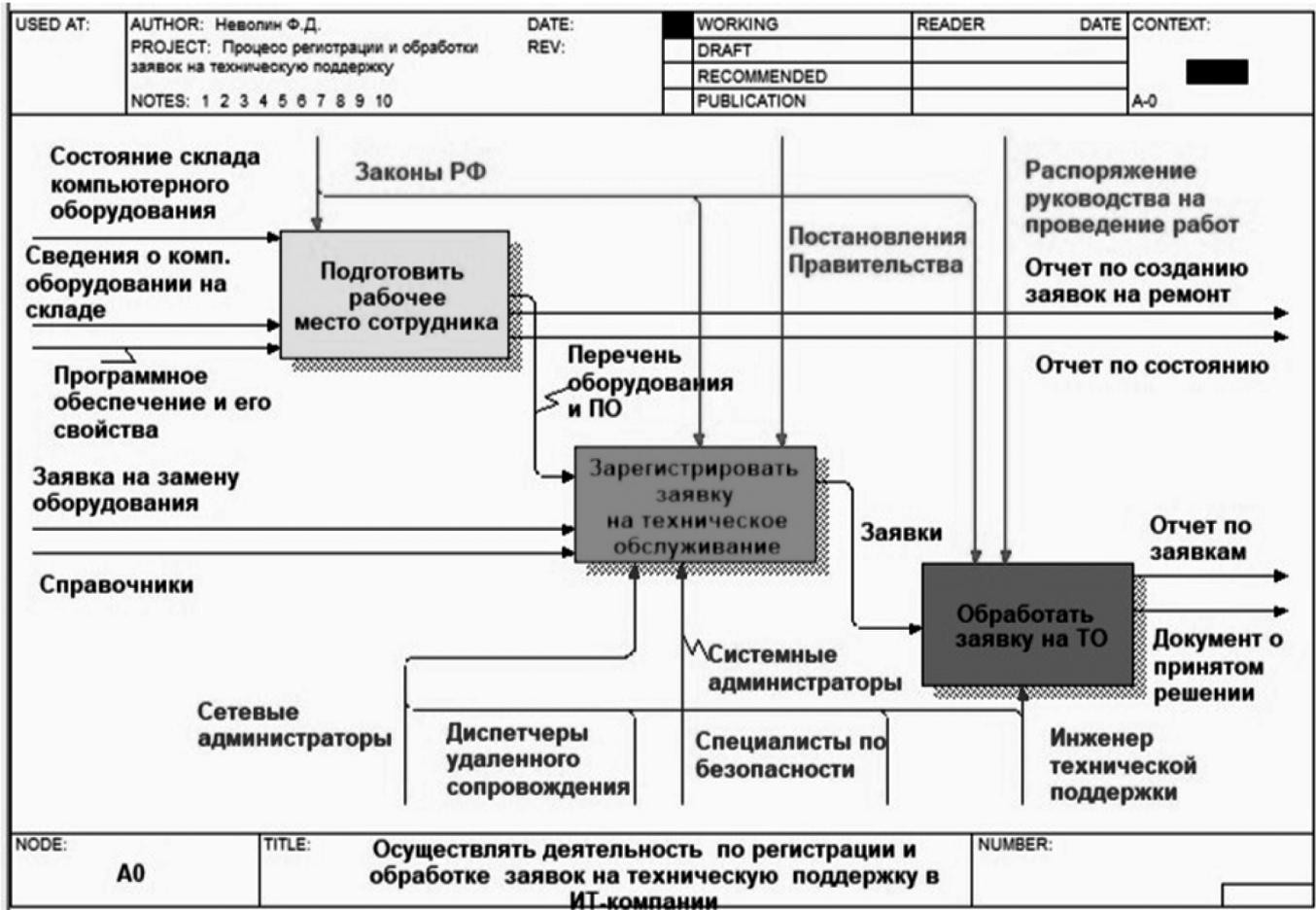


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции уровня A0

отдела ТП проверяет состояние склада компьютерного оборудования [4].

На основании результатов проверки формируется перечень оборудования и ПО. Затем регистрируется заявка на техническое обслуживание.

В заявке указывается тема, описание, исполнители и срок выполнения. Далее инженер технической поддержки обрабатывает заявку на ТО, после чего формируется документ о принятом решении, при этом ведется учет заявок, который контролируется начальником отдела ТП.

Рассмотрим подробнее каждый из блоков диаграммы декомпозиции уровня A0. Для построения диаграммы декомпозиции блока «Подготовить рабочее место сотрудника» использовалась методология IDEF3. Указанная диаграмма представлена на рисунке 3.

Подготовка рабочего места сотрудника включает следующие этапы. На основании сведений о компьютерном оборудовании, находящемся на складе, создается заявка на подготовку рабочего места для сотрудника.

Для выдачи сотруднику оборудования для рабочего места необходимо сверить его перечень с документацией склада, и согласовать выдачу оборудования с руководителем.

После успешного согласования выданное оборудование подключают сотруднику для работы. Затем сотрудник ТП предоставляет руководству список исправленного или сломанного оборудования и ПО для установки. После формируется отчет о создании заявок, о состоянии и перечне оборудования [5].

Рассмотрим подробнее каждый из блоков диаграммы A0. Для построения диаграммы декомпозиции блока «Зарегистрировать заявку на техническое обслуживание» использовалась методология IDEF3. Диаграмма представлена на рисунке 4.

Регистрация заявки на техническое обслуживание (ТО) происходит следующим образом.

После получения заявки на замену оборудования необходимо определить перечень возникших проблем у пользователя. Далее создается заявка на техническое обслуживание, и в описании заявки точно описываются проблемы для оперативности решения.

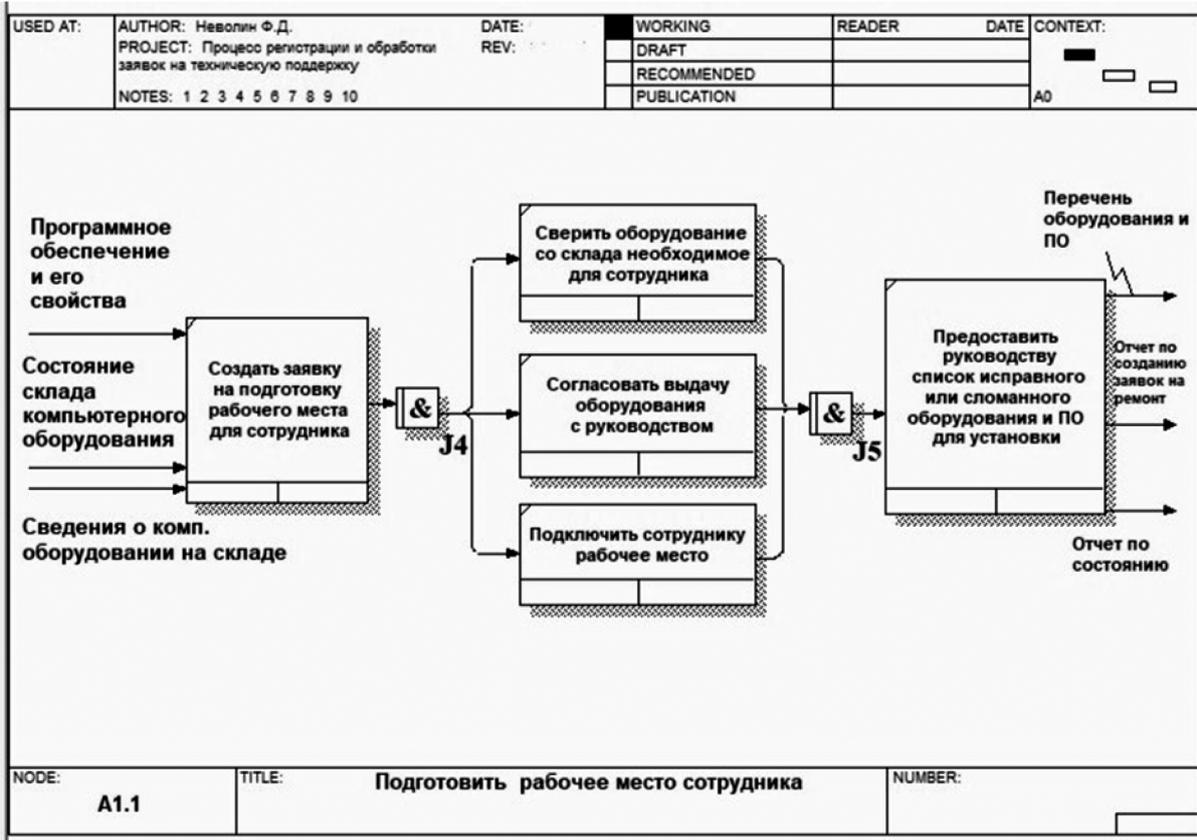


Рис. 3. Диаграмма декомпозиции блока «Подготовить рабочее место сотрудника»

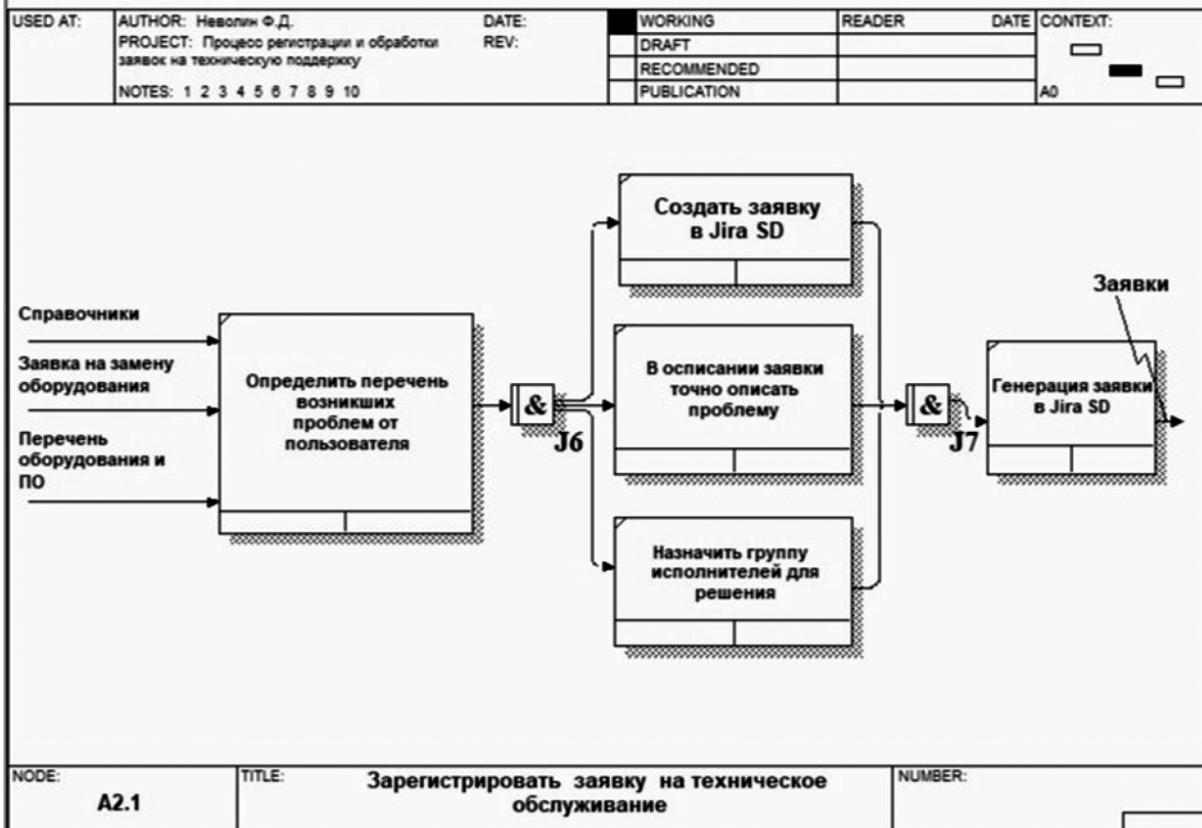


Рис. 4. Диаграмма декомпозиции блока «Зарегистрировать заявку на техническое обслуживание»

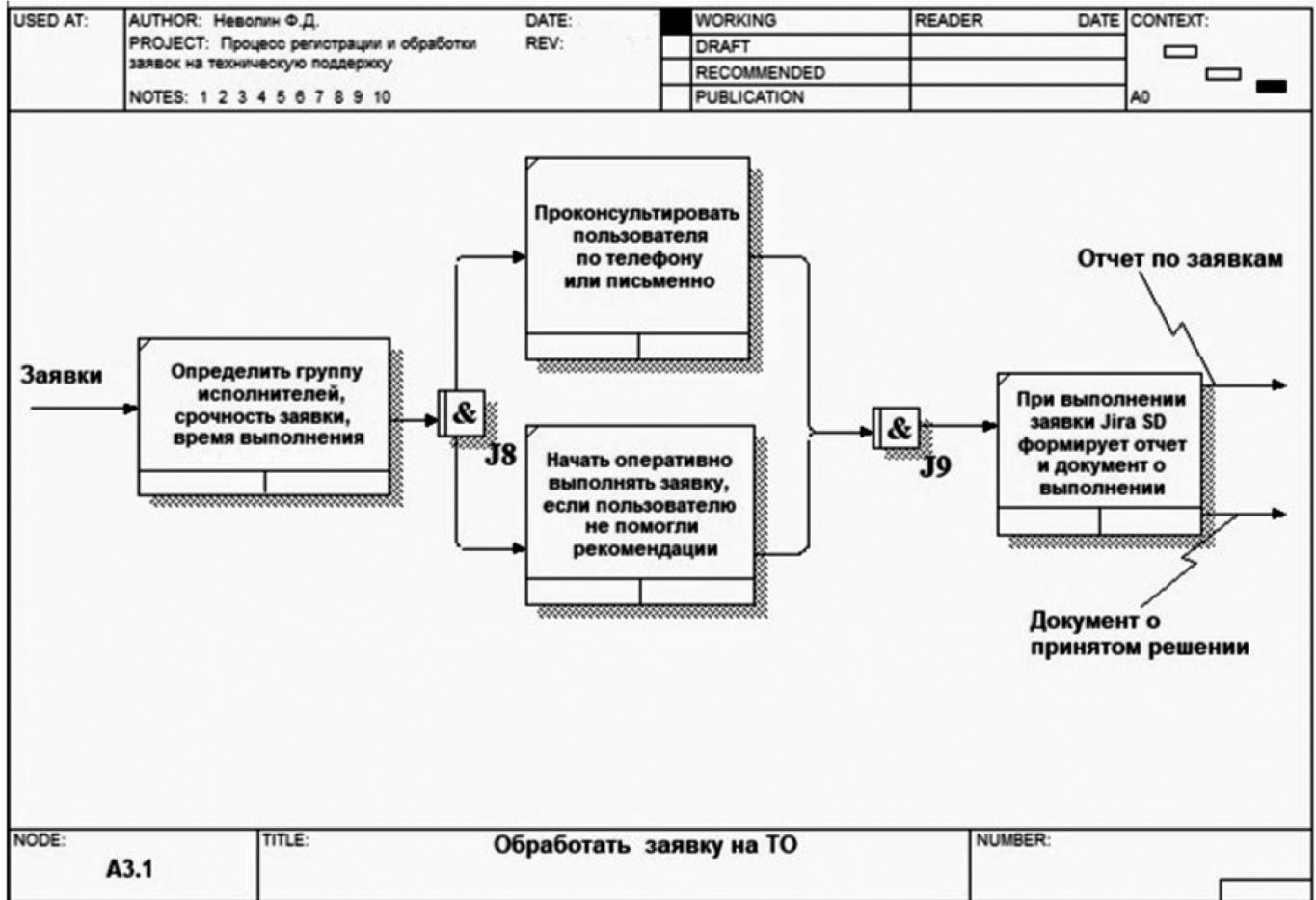


Рис. 5. Диаграмма декомпозиции блока «Обработать заявку на ТО»

Назначается группа исполнителей в зависимости от проблемы. После генерируется заявка с её уникальным номером, которая отправляется в общий пул заявок [6].

Далее рассматривается заключительная диаграмма декомпозиции A0: «Обработать заявку на ТО». Для её построения использовалась методология IDEF3. Детализация представлена на рисунке 5.

Процесс обработки заявки на ТО начинается с определения группы исполнителей, срочности выполнения заявки, а также времени выполнения.

Далее специалист ТП должен проконсультировать пользователя по телефону или письменно, если проблему возможно решить таким образом, и начать оперативно выполнять заявку, если пользователю не помогут рекомендации. После оказания успешной помощи при решении проблемы заявка закрывается, и формируется отчет и документ о выполнении. Создается отчет по обработанной заявке, который уходит в архив.

Проектирование базы данных системы

Проектирование базы данных для системы организации многомодального взаимодействия пользователей

программных систем было выполнено с использованием программного обеспечения CA ERWin Data Modeler [7].

В таблице 1 представлены основные сущности базы данных их характеристики.

В результате исследования предметной области были определены функциональные зависимости атрибутов сущностей, что позволило разработать полную атрибутивную модель базы данных.

Данные о связях между сущностями представлены в таблице 2.

Модель была приведена к третьей нормальной форме (3НФ) для устранения избыточности данных и повышения целостности информации.

На рисунке 6 представлена визуализация атрибутивной модели, включающей основные сущности и их взаимосвязи.

Структура базы данных обеспечивает строгую организацию данных, необходимую для эффективного функционирования процессов многомодального взаимодействия между сотрудниками и заявками [8].

Таблица 1.

Основные сущности базы данных их характеристики

Название сущности	Смысл сущности
ПОРУЧЕНИЯ	Данные по поручениям
СОТРУДНИКИ	Данные по сотрудникам
КОМНАТЫ	Данные по комнатам
ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ	Данные по пользователям
ЗАЯВКИ	Данные по заявкам
ОТДЕЛЫ	Данные по отделам
ЗАЯВКИ НА ЗАМЕНУ ОРГТЕХНИКИ	Данные по заявкам на замену оргтехники
ВОПРОСЫ ЗАЯВКИ	Данные по вопросам заявок
ОБОРУДОВАНИЕ	Данные по оборудованию
СОСТАВ ЗАЯВКИ	Данные по составам заявок

В ее состав входят такие прообразы будущих объектов конфигурации, как СОТРУДНИКИ, ПОРУЧЕНИЯ, КОМНАТЫ, ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ, ЗАЯВКИ, ОТДЕЛЫ и др. Каждый объект конфигурации содержит информацию о своих свойствах, типах данных и ограничениях доменных и функциональных типов [9].

Заключение

В процессе функционирования системы интеллектуальной поддержки, которая отвечает за мониторинг принятия решений и управления всеми инцидентами, важно информировать пользователей о текущем состоянии инцидента. После изменения статуса может по-

Таблица 2.

Связи между сущностями

Родительская сущность	Дочерняя сущность	Имя связи	Тип связи	Семантика связи
Сотрудники	Поручения	R/1	НИД 1:М	Отвечает за/составляет
Отделы	Сотрудники	R/2	НИД 1:М	Работает
Оборудование	Состав заявки	R/3	НИД 1:М	Включает
Заявки на замену оргтехники	Состав заявки	R/4	НИД 1:М	Включает
Сотрудники	Заявки на замену оргтехники	R/5	НИД 1:М	Рассматривает
Сотрудники	Комнаты	R/6	НИД 1:М	Отвечает за
Сотрудники	Заявки	R/7	НИД 1:М	Отвечает за
Комнаты	Пользователь	R/8	НИД 1:М	Работает
Пользователь	Заявки	R/9	ИД 1:М	Иницирует
Заявки	Вопросы заявки	R/10	ИД 1:М	Включает
Пользователь	Заявки на замену оргтехники	R/11	ИД 1:М	Иницирует

надобится обратная связь с пользователем, включая такие действия, как передача инцидента на следующий уровень поддержки, обновление расчетного времени принятия решения и другие подобные меры.

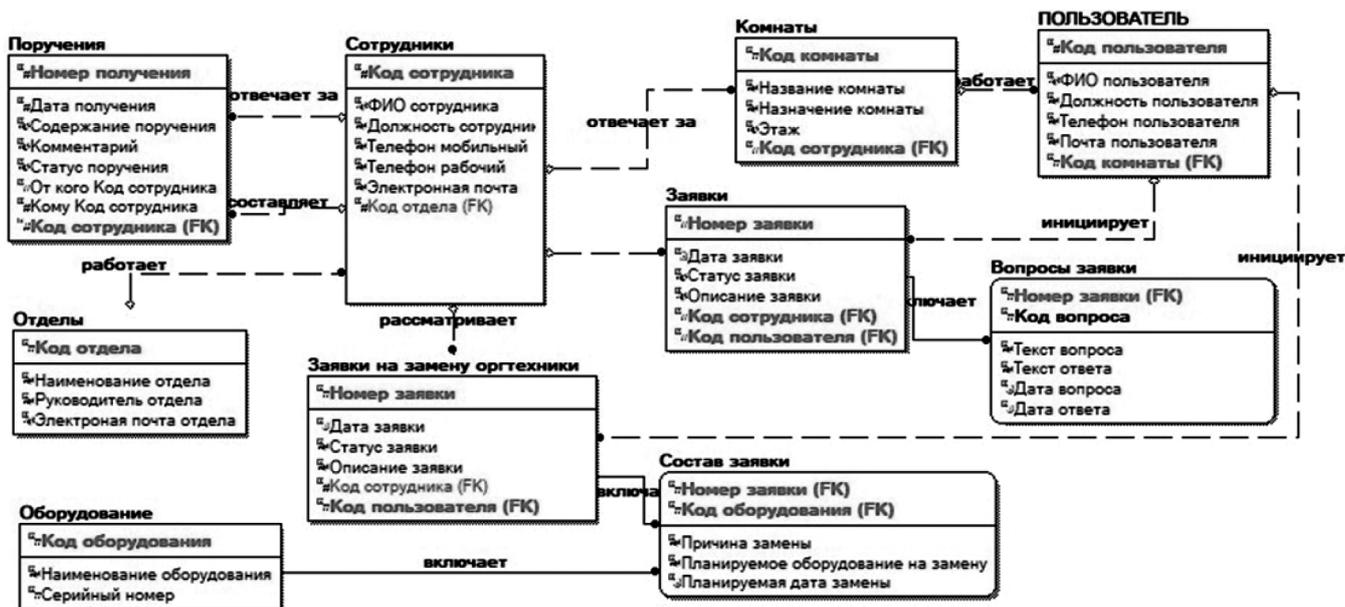


Рис. 6. Диаграмма модели базы данных

Для эффективной работы внутри холдингов и обеспечения удовлетворенности пользователей важно оперативно уведомлять пользователей о статусе их запроса и предоставлять им всю необходимую информацию. Такая дисциплина позволяет контролировать процесс управления инцидентами и гарантировать быстрый и качественный сервис для пользователей [10].

Эффективная коммуникация способствует созданию прозрачной среды, где все участники процесса понимают свои роли и этапы работы. Например, автоматизированные уведомления о переходе инцидента на новый уровень поддержки или обновлении временных рамок позволяют пользователям оставаться в курсе событий без необходимости самостоятельного отслеживания. Это не только экономит время, но и минимизирует риски возникновения конфликтов из-за недопонимания.

Кроме того, интеграция аналитических инструментов в единую систему поддержки принятия решений помогает прогнозировать задержки и оптимизировать распределение ресурсов. Использование предиктивных моделей позволяет заранее информировать пользователей о возможных изменениях, что усиливает восприятие сервиса как надежного и клиентоориентированного.

Таким образом, систематическая обратная связь и продуманная коммуникационная стратегия становятся основой для поддержания высоких стандартов качества в условиях сложных холдинговых структур, где скорость и точность взаимодействия напрямую влияют на репутацию и эффективность бизнеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янаева М.В., Керопова А.С., Харченко А.С. Методы и подходы к интеграции данных, проблемы интеграции информационных систем // Оригинальные исследования. 2022. Т. 12. № 8. С. 38–46.
2. Петрова А.М., Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н., Чискидов С.В. Модели процессов функционирования информационной системы мониторинга климата и окружающей среды в арктическом регионе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 4-2. С. 104–110.
3. Ломовцев Р.С., Ромашкова О.Н., Пономарева Л.А. Алгоритм интеллектуальной поддержки управленческих решений для региональной образовательной системы // Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. № 10 (71). С. 35–43.
4. Юсупова Н.И., Сметанина О.Н., Агадулина А.И., Рассадникова Е.Ю. // Вопросы моделирования при организации информационной интеллектуальной поддержки управленческих решений в сложных системах. Фундаментальные исследования. 2017. № 2. С. 107–113.
5. Стасышин В.М. Базы данных: технологии доступа: учебное пособие для вузов / В.М. Стасышин, Т.Л. Стасышина. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2021. — С. 81–89.
6. Заболотникова В.С., Ромашкова О.Н. Анализ методов кластеризации для эффективного управления процессами в налоговой службе // Фундаментальные исследования. 2017. № 9-2. С. 303–307.
7. Зыков С.В. Программирование. Функциональный подход: учебник и практикум для вузов / С.В. Зыков. — Москва: Издательство Юрайт, 2021. — С. 108–115.
8. Новикова А.С., Ромашкова О.Н. Интеграция нейросетей в информационные системы розничных торговых сетей: прогнозирование и управление распределением ресурсов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024. № 1-2. С. 49–52.
9. Павличева Е.Н., Ромашкова О.Н. Информационные процессы поддержки принятия решений в многоуровневых образовательных системах / Москва, 2022.
10. Romashkova O.N., Belyakova A.V., Ponomareva L.A. Information model of data management in network online educational systems // В сборнике: Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021. 2021. С. 136–140.

© Неволин Филипп Дмитриевич (fnevolin@mail.ru); Ромашкова Оксана Николаевна (ox-rom@yandex.ru);
Чискидов Сергей Васильевич (chis69@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТА

MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING THE PROBABILITY OF IMPLEMENTING AN ENGINEERING PROJECT

A. Nikulin
D. Ermakov

Summary. This article presents a mathematical model for evaluating the probability of implementing an engineering project. The model takes into account various factors that affect the implementation of the project, such as the quality of project documentation, the experience and qualifications of performers, the availability of funding, the complexity of the project, and risks. The model allows us to evaluate the probability of implementing the project and identify the most critical factors that affect its success. The article provides a theoretical basis for developing a mathematical model and its application to a real engineering project. The results of the study can be used to optimize the process of implementing engineering projects and increase their efficiency.

Keywords: engineering project, mathematical model, probability of implementation, risk factors, optimization.

Никулин Артем Русланович

Аспирант, Российский университет дружбы народов
bek.aigul@mail.ru

Ермаков Дмитрий Николаевич

доктор политических наук, доктор экономических наук,
кандидат исторических наук, профессор,
Российский университет дружбы народов

Аннотация. В статье представлена математическая модель для оценки вероятности реализации инжинирингового проекта. Модель учитывает различные факторы, влияющие на реализацию проекта, такие как качество проектной документации, опыт и квалификация исполнителей, доступность финансирования, сложность проекта и риски. Модель позволяет оценить вероятность реализации проекта и определить наиболее критические факторы, влияющие на его успех. Статья представляет собой теоретическую основу для разработки математической модели и ее применение на примере реального инжинирингового проекта. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации процесса реализации инжиниринговых проектов и повышения их эффективности.

Ключевые слова: инжиниринговый проект, математическая модель, вероятность реализации, факторы риска, оптимизация.

Разработка механизмов и инструментов для инжинирингового проекта является важным этапом в его реализации. Вот некоторые из механизмов и инструментов, которые могут быть использованы: создание проектной команды, определение целей и задач, разработка проектного плана и графика. Идентификация и оценка рисков, разработка планов по их минимизации и управлению. Разработка и реализация системы контроля качества, включая тестирование и проверку результатов. Создание механизмов для сотрудничества между участниками проекта, включая обмен информацией и координацию действий. Разработка и реализация системы мониторинга и оценки проекта, включая сбор и анализ данных.

Инструменты:

1. Использование программных инструментов, таких как Asana, Trello, Jira, для управления проектом и координации действий.
2. Использование инструментов, таких как Slack, Microsoft Teams, для обмена информацией и координации действий.
3. Использование инструментов, таких как Riskonnect, для идентификации и оценки рисков.

4. Использование инструментов, таких как TestRail, для тестирования и проверки результатов.
5. Использование инструментов, таких как Google Analytics, для сбора и анализа данных.

Методологии:

1. Использование гибкой методологии для управления проектом, включая развитие и непрерывную интеграцию.
2. Использование методологии Scrum для управления проектом, включая создание команды, определение целей и задач, и реализацию спринтов.
3. Использование каскадной методологии для управления проектом, включая последовательное выполнение этапов и фаз.
4. Использование гибридной методологии, сочетающей элементы разных методологий.

Стандарты:

1. ISO 9001: Использование международного стандарта для управления качеством, включая разработку и реализацию системы контроля качества.
2. ISO 14001: Использование международного стандарта для управления окружающей средой, вклю-

чая разработку и реализацию системы управления окружающей средой.

3. ISO 27001: Использование международного стандарта для управления информационной безопасностью, включая разработку и реализацию системы управления информационной безопасностью.

Эти механизмы, инструменты, методологии и стандарты могут быть использованы для разработки и реализации инжинирингового проекта, включая управление проектом, контроль качества, сотрудничество и мониторинг и оценку.

Государственные меры поддержки могут быть очень эффективными в стимулировании развития инжиниринговых проектов. Вот некоторые примеры государственных мер поддержки, которые могут быть использованы: предоставление грантов для финансирования инжиниринговых проектов, включая разработку и реализацию новых технологий и продуктов. Предоставление кредитов для финансирования инжиниринговых проектов, включая строительство и модернизацию производственных мощностей. Предоставление налоговых льгот для компаний, реализующих инжиниринговые проекты, включая снижение налогов на прибыль и имущество. Создание инвестиционных фондов для финансирования инжиниринговых проектов, включая венчурные фонды и фонды прямых инвестиций.

Упрощение процедур для получения разрешений и лицензий для компаний, реализующих инжиниринговые проекты. Сокращение сроков для рассмотрения заявок на получение разрешений и лицензий для компаний, реализующих инжиниринговые проекты. Предоставление информации о возможностях и условиях для реализации инжиниринговых проектов, включая информацию о рынке и конкурентах. Строительство инфраструктуры для поддержки инжиниринговых проектов, включая дороги, мосты и другие объекты инфраструктуры. Модернизация инфраструктуры для поддержки инжиниринговых проектов, включая модернизацию энергосистем и систем связи. Предоставление услуг для поддержки инжиниринговых проектов, включая услуги по логистике и транспортировке. Обучение специалистов для работы в инжиниринговых проектах, включая обучение по новым технологиям и методам. Организация стажировок для студентов и молодых специалистов в инжиниринговых проектах. Проведение исследований для поддержки инжиниринговых проектов, включая исследования по новым технологиям и материалам. Эти государственные меры поддержки могут быть очень эффективными в стимулировании развития инжиниринговых проектов и привлечении инвестиций в эту область.

SWOT-анализ реализации инжиниринговых проектов в РФ может быть представлен следующим образом:

Сильные стороны:

1. В России есть большое количество квалифицированных инженеров и специалистов, которые могут реализовать инжиниринговые проекты.
2. В России есть развитая инфраструктура, включая транспортную, энергетическую и коммунальную, что позволяет реализовать инжиниринговые проекты.
3. Правительство России предоставляет поддержку инжиниринговым проектам, включая финансирование и налоговые льготы.
4. В России есть большое количество сырья и материалов, необходимых для реализации инжиниринговых проектов.
5. В России есть опыт реализации крупных инжиниринговых проектов, включая строительство олимпийских объектов и реализацию проектов в области энергетики.

Слабые стороны:

1. Инжиниринговые проекты в России часто характеризуются низкой эффективностью и высокими затратами.
2. В России существует проблема коррупции, которая может негативно повлиять на реализацию инжиниринговых проектов.
3. В России существует недостаточная конкуренция на рынке инжиниринговых услуг, что может привести к высоким ценам и низкому качеству услуг.
4. Инжиниринговые проекты в России часто не включают инновационные технологии и решения, что может привести к низкой конкурентоспособности.
5. В России существует недостаточная международная кооперация в области инжиниринга, что может ограничить доступ к новым технологиям и рынкам.

Возможности:

1. В России существует растущий спрос на инжиниринговые услуги, особенно в области энергетики и транспорта.
2. Правительство России реализует программы поддержки инжиниринговых проектов, включая финансирование и налоговые льготы.
3. В России существует возможность развития международной кооперации в области инжиниринга, что может привести к доступу к новым технологиям и рынкам.
4. В России существует возможность внедрения инновационных технологий в инжиниринговых проектах, что может повысить эффективность и конкурентоспособность.
5. В России существует возможность развития регионов через реализацию инжиниринговых проектов, что может привести к созданию новых рабочих мест и экономическому росту.

Угрозы:

1. В России существует экономическая нестабильность, которая может негативно повлиять на реализацию инжиниринговых проектов.
2. В России существует риск санкций, которые могут ограничить доступ к международным рынкам и технологиям.
3. В России существует конкуренция с иностранными компаниями, которые могут предложить более низкие цены и высокое качество услуг.
4. Недостаточная квалификация специалистов, что может негативно повлиять на реализацию инжиниринговых проектов.
5. В России существует риск экологических проблем, которые могут негативно повлиять на реализацию инжиниринговых проектов.

Модель:

Пусть P — вероятность реализации инжинирингового проекта, а X — набор факторов, влияющих на реализацию проекта.

Математически модель можно представить как:

$$P = f(X) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n — факторы, влияющие на реализацию проекта, такие как:

- x_1 — качество проектной документации
- x_2 — опыт и квалификация исполнителей
- x_3 — доступность финансирования
- x_4 — сложность проекта
- x_5 — риски и неопределенности
- x_n — другие факторы, влияющие на реализацию проекта

Функция вероятности:

Функция вероятности P можно представить как:

$$P = 1 / (1 + e^{(-z)})$$

где z — линейная комбинация факторов X :

$$z = \beta_0 + \beta_{1x_1} + \beta_{2x_2} + \dots + \beta_{nx_n}$$

где $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ — коэффициенты, определяемые на основе исторических данных и экспертных оценок.

Коэффициенты:

Коэффициенты $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ можно определить на основе исторических данных и экспертных оценок. Например:

β_0 — константа, определяющая базовую вероятность реализации проекта

β_1 — коэффициент, определяющий влияние качества проектной документации на вероятность реализации проекта

β_2 — коэффициент, определяющий влияние опыта и квалификации исполнителей на вероятность реализации проекта

β_3 — коэффициент, определяющий влияние доступности финансирования на вероятность реализации проекта

β_4 — коэффициент, определяющий влияние сложности проекта на вероятность реализации проекта

β_5 — коэффициент, определяющий влияние рисков и неопределенностей на вероятность реализации проекта

β_n — коэффициент, определяющий влияние других факторов на вероятность реализации проекта.

Предположим, что мы хотим оценить вероятность реализации инжинирингового проекта, который включает в себя строительство нового нефтеперерабатывающего завода. Мы определили следующие факторы, влияющие на реализацию проекта:

- x_1 — качество проектной документации (оценка: 0,8)
- x_2 — опыт и квалификация исполнителей (оценка: 0,9)
- x_3 — доступность финансирования (оценка: 0,7)
- x_4 — сложность проекта (оценка: 0,6)
- x_5 — риски и неопределенности (оценка: 0,5)

Мы также определили коэффициенты $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5$ на основе исторических данных и экспертных оценок:

$$\begin{aligned} \beta_0 &= 0,5 \\ \beta_1 &= 0,2 \\ \beta_2 &= 0,3 \\ \beta_3 &= 0,1 \\ \beta_4 &= -0,2 \\ \beta_5 &= -0,1 \end{aligned}$$

Теперь мы можем рассчитать вероятность реализации проекта:

$$z = 0,5 + 0,2(0,8) + 0,3(0,9) + 0,1(0,7) - 0,2(0,6) - 0,1(0,5) = 0,83$$

$$P = 1 / (1 + e^{(-0,83)}) = 0,69$$

Следовательно, вероятность реализации инжинирингового проекта составляет 69 %.

Коэффициенты $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ должны быть определены на основе исторических данных и экспертных оценок. Модель может быть использована для оценки вероятности реализации проекта на различных стадиях его реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахмарданова, Н. Международный инжиниринг: формы EPC-контрактов и строительство проектов / Н. Шахмарданова // Международный бизнес: новые вызовы и горизонты: Сборник студенческих трудов. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2024. — С. 292–299. — EDN OFZUPG.
2. Ушаков А.И. Проектное управление: теория и практика» — учебник под редакцией профессора А.И. Ушакова. — Москва — Кукушкин, К.В. Эффективные бизнес-модели инжиниринговых центров: стандартизация и возможности для повышения качества / К.В. Кукушкин, В.А. Левенцов // Цифровой инжиниринг: компьютерные (суперкомпьютерные) технологии и организация наукоемких производств: Сборник тезисов докладов Национальной научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 31 мая 2024 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024. — С. 141–150. — EDN FJBRJN.2020
3. Дьяченко, Владимир Анатольевич. Управление инжиниринговыми проектами: учебник для высших учебных заведений и дополнительного высшего образования на основе курса лекций, прочитанных автором в НИУ ВШЭ в 2018–2020 годах / В.А. Дьяченко; рецензент — доктор экономических наук, ординарный профессор НИУ «Высшая школа экономики» В.М. Аньшин. — Москва: Буки Веди, 2020. — 580 с.: ил., табл.: 22 см.; ISBN 978-5-4465-2962-9.
4. Соколова, Н.Г. Инжиниринговые услуги как объект международной торговли / Н.Г. Соколова, А.Н. Лобанова // Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. — 2018. — Т. 28, № 3. — С. 366–372. — EDN XUEDTV.
5. Яшин С.Н. Особенности оценки стоимости капитала инновационно развивающегося бизнеса компании / Яшин С.Н., Кошелев Е.В., Иванов А.А. Финансы и кредит — 2020 № 2. — С.396–409.
6. Лазник Анатолий Александрович Исследование форм инжиниринговых контрактов, заключаемых на мировом рынке // Вестник ГУУ. 2017. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-form-inzhiniringovyh-kontraktov-zaklyuchaemyh-na-mirovom-rynke>
7. Основы контроллинга: учебное пособие / А.С. Бекбулатова, Е.А. Ковалева, О.Е. Самусенко. — Москва: Российский ун-т дружбы народов им. Патриса Лумумбы, 2024. — 76, [2] с.: ил. — Библиогр. в конце кн. (5 назв.). — 300 экз. — ISBN 978-5-209-12315-6.

© Никулин Артем Русланович (bek.aigul@mail.ru); Ермаков Дмитрий Николаевич
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РОЛЬ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СОЗДАНИИ И РАЗВИТИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРУЕМОГО И ПРЕДПИСЫВАЮЩЕГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

THE ROLE OF MODERN ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE CREATION AND DEVELOPMENT OF AUTOMATED PREDICTIVE AND PRESCRIPTIVE MAINTENANCE SYSTEMS IN INDUSTRY

**B. Palyukh
A. Chesalov**

Summary. The main objective of this study is to identify the main advanced information technology areas and technologies that need to be created, developed and used in modern automated predictive and prescriptive maintenance systems for multi-stage technological processes in industry. The study resulted in the formation of a list of priority production automation tasks in conjunction with modern technologies and artificial intelligence (AI) technologies in the context of the transition from the concept of the digital economy to the data economy. An analysis was made of the possibility of integrating AI with such systems as a production management system, an enterprise asset management system, a resource planning system, a product quality management system, and a computerized maintenance management system. This research enables scientists and engineers to accelerate the process of finding optimal solutions to manufacturing design problems and creating automated predictive and prescriptive maintenance systems. Integrating AI technologies with manufacturing systems enables the creation of intelligent manufacturing environments that can adapt to changes and optimize processes in real time. Such systems can improve the efficiency of manufacturing processes, reduce equipment maintenance costs, and improve product quality.

Keywords: predictive maintenance, industrial Internet of Things, edge artificial intelligence, manufacturing execution system, computerized maintenance management system, industrial ecosystem.

Введение

В текущих экономических условиях, когда концепция развития цифровой экономики сменяется новым трендом развития — экономикой данных, внедрение передовых вычислительных и прорывных информационных технологий в промышленных экосистемах

Палюх Борис Васильевич

д.т.н., профессор,

Тверской государственной технической университет

pboris@tstu.tver.ru

Чесалов Александр Юрьевич

к.т.н., генеральный директор

ООО «Программные системы Атлансис», г. Тверь

achesalov@mail.ru

Аннотация. Основная цель данного исследования заключается в определении основных передовых информационно-технологических направлений и технологий, которые необходимо создавать, развивать и использовать в современных автоматизированных системах прогнозируемого и предписывающего обслуживания многостадийных технологических процессов в промышленности.

В процессе исследования сформирован перечень приоритетных производственных задач автоматизации во взаимосвязи с современными технологиями и технологиями искусственного интеллекта (ИИ) в условиях перехода от концепции цифровой экономики к экономике данных. Выполнен анализ возможности интеграции ИИ с такими системами, как система управления производством, система управления активами предприятия, система планирования ресурсами, система управления качеством продукции, компьютеризированной системой управления техническим обслуживанием.

Данное исследование позволяет ученым и инженерам ускорить процесс поиска оптимальных путей решения производственных задач проектирования и создания автоматизированных систем прогнозируемого и предписывающего обслуживания. Интеграция технологий ИИ с производственными системами позволяет создавать интеллектуальные производственные среды, способные адаптироваться к изменениям и оптимизировать процессы в реальном времени. Такие системы позволяют повысить эффективность производственных процессов, снизить затраты на обслуживание оборудования и улучшить качество продукции.

Ключевые слова: прогнозируемое обслуживание, промышленный Интернет вещей, периферийный искусственный интеллект, система управления производством, компьютеризированная система управления техническим обслуживанием, промышленная экосистема.

является приоритетным направлением цифровой трансформации промышленных предприятий различных отраслей экономики.

Цель цифровой трансформации промышленных предприятий должна заключаться в реализации ряда комплексных программ и проектов основывающихся

на прорывных и перспективных технологиях «Индустрии 4.0», которые, прежде всего, включают в себя технологии искусственного интеллекта (ИИ), позволяющие создавать на первом этапе новую цифровую инфраструктуру промышленности, а в итоговом результате — экосистему, способную не только объединить разрозненные цифровые решения, платформы и системы, а также дать толчок к формированию и развитию актуальных и современных комплексных решений для соответствующих отраслей экономики [1, 2, 3, 4].

Одним из наиболее востребованных решений для промышленности являются автоматизированные системы прогнозируемого и предписывающего обслуживания, предназначенные для управления многостадийными технологическими процессами. В их основе лежат современные информационные технологии, которые обеспечивают сбор, разметку и верификацию больших объемов разнородных данных, поступающих от сотен тысяч интеллектуальных устройств. Эти данные используются системами ИИ для формирования точной и релевантной прогнозной аналитики.

Цель исследования заключается в выявлении ключевых современных информационно-технологических направлений и технологий, активно используемых при разработке и совершенствовании передовых автоматизированных систем прогнозируемого и предписывающего обслуживания. Кроме того, работа направлена на определение перечня приоритетных задач автоматизации в производственной сфере и демонстрацию их тесной взаимосвязи с технологиями ИИ.

Выделим следующие приоритетные информационно-технологические направления, в рамках которых требуются создавать и развивать автоматизированные системы прогнозируемого и предписывающего обслуживания:

1. Инжиниринг ИИ

- Использование методологии DevOps (от англ. Development & Operations) для автоматизации процессов сборки, настройки, развертывания и интеграции программного обеспечения в технологических, производственных и бизнес-процессах.
- Применение подхода DataOps (от англ. Data Operations) для процессно-ориентированной разработки и обеспечения доступа к большим объемам разнородных данных.
- Реализация MLOps (от англ. Machine Learning Operations) для развертывания, управления и поддержки моделей машинного обучения в рамках промышленных автоматизированных систем.

2. Объяснимый и доверенный ИИ

- Создание и применение этичных, объяснимых и безопасных промышленных интеллектуальных систем.

- Соблюдение законодательства и рекомендаций соответствующих организаций в области защиты информации и персональных данных.

3. Композитный ИИ

- Комбинирование различных технологий и систем ИИ (экспертные, аналитические и прогнозные системы; языковые и графические системы ИИ, и др.) для повышения достоверности и точности результатов анализа данных и прогнозов.
- Объединение разнородных данных (структурированных, неструктурированных, временных рядов, изображений и других) для всестороннего и комплексного анализа.

4. Периферийный ИИ для промышленного Интернета вещей

- Использование периферийного ИИ (Edge AI) для оперативного сбора и обработки данных на самих «умных» датчиках, контроллерах и устройствах в режиме реального времени.
- Уменьшение временных и финансовых затрат, и вычислительной нагрузки на централизованные дата-центры и каналы передачи данных посредством локального сбора и обработки данных.

5. Интеллектуальные помощники

- Разработка программного обеспечения с интеллектуальными функциональными возможностями, которые предоставляют возможность профильным специалистам принимать актуальные и обоснованные решения.
- Использование виртуальных помощников для автоматизации простых операций с данными.

6. Облачные сервисы

- Применение облачных сервисов для хранения, верификации, анализа и представления больших объемов разнородных данных.
- Использование облачных сервисов для машинного обучения и формирования аналитических данных и отчетов.

7. Автономные автоматизированные системы

- Создание самообучающихся и самонастраивающихся автоматизированных систем, способных самостоятельно приспосабливаться обработке новых разнородных данных, поступающих из разных источников данных.
- Внедрение автономных решений для минимизации вмешательства человеческого фактора в эксплуатации оборудования.

8. Цифровые двойники

- Создание виртуальных копий физического оборудования для моделирования, обработки и прогнозирования его состояния.
- Использование цифровых двойников для тестирования сценариев и улучшения производственных процессов обслуживания промышленного оборудования.

9. Обработка больших данных
 - Применение технологий больших данных для сбора, хранения и обработки информации от множества датчиков, оборудования, автоматизированных и информационных систем.
 - Использование глубокой аналитики для выявления закономерностей в появлении аномалий и прогнозирования отказов оборудования.
10. Информационная безопасность
 - Обеспечение защиты от кибератак, особенно в условиях использования данных с распределенных датчиков и систем промышленного Интернета вещей.
 - Внедрение механизмов авторизации, аутентификации и шифрования передаваемых и хранимых данных.
11. Нейроморфные вычисления и квантовые технологии
 - Исследование и применение нейроморфных вычислений для повышения эффективности обработки данных.
 - Использование квантовых технологий для решения сложных задач оптимизации и прогнозирования.
12. Интеграция с производственными системами
 - Интеграция систем прогнозируемого обслуживания с системой управления производственными ресурсами и системой управления производством позволяет повысить качество реализации ключевых технологических, научно-исследовательских и производственных процессов промышленного предприятия.
13. Блокчейн для точного учета и контроля процессов
 - Использование распределенных технологий обработки данных для обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности данных, получаемых с датчиков и оборудования.
14. Гибридные модели машинного обучения
 - Комбинирование традиционных методов машинного обучения с глубоким обучением для повышения точности прогнозов.
 - Использование моделей, адаптированных под специфику конкретного оборудования и условий эксплуатации.
15. Роботизация процедур обслуживания
 - Использование роботизированных систем для автоматизации простых рутинных задач диагностики и технического обслуживания промышленного оборудования.

Кривая зрелости технологий Gartner



Рис. 1. Кривая зрелости технологий Gartner

Все вышеперечисленные направления в создании и развитии промышленных автоматизированных систем формируют основу для создания современных, эффективных и надёжных систем прогнозируемого и предписывающего обслуживания, которые способны значительно снизить производственные риски и повысить эффективность работы промышленных предприятий [1, 2].

Основная задача разрабатываемых автоматизированных систем заключается в реализации сквозной автоматизации сложных и трудоёмких процессов сбора и обработки больших объёмов разнородных данных, поступающих от миллионов интеллектуальных устройств в рамках промышленного Интернета вещей (IIoT). Эти системы должны предоставлять цифровые сервисы для обработки и анализа данных с использованием технологий ИИ, включая современные промышленные облачные распределённые системы ИИ (англ. Cloud AI Services) и периферийный ИИ (англ. Edge Artificial Intelligence, Edge AI). Целью таких решений является извлечение новых знаний и создание дополнительной ценности из имеющихся данных для повышения эффективности, безопасности и качества производства продукции и услуг [3].

Технологии ИИ уже активно преобразуют различные секторы промышленности, предоставляя инновационные решения для прогнозного технического обслуживания, мониторинга качества продукции, выявления дефектов, прогнозирования рыночного спроса, оптимизации производственных процессов и решения других задач. Компании, внедряющие ИИ, получают значительные преимущества, которые включают: снижение затрат, повышение эффективности и улучшение безопасности. С ростом рынка промышленного ИИ до \$72,5 млрд долларов США к 2025 году и ежегодным темпом роста в 31 %, эти технологии станут ключевым фактором конкурентоспособности в промышленности [2].

Современное производство становится всё более сложным и технологичным, что требует реализации новых подходов к управлению промышленными предприятиями на основе новых информационных технологий. Одна из таких прорывных технологий — это искусственный интеллект, который позволяет обеспечить высокий уровень автоматизации, темп и точность принятия решений. Интеграция ИИ с такими системами, как система управления производством, система планирования ресурсами, система управления качеством продукции, система управления активами предприятия, компьюте-

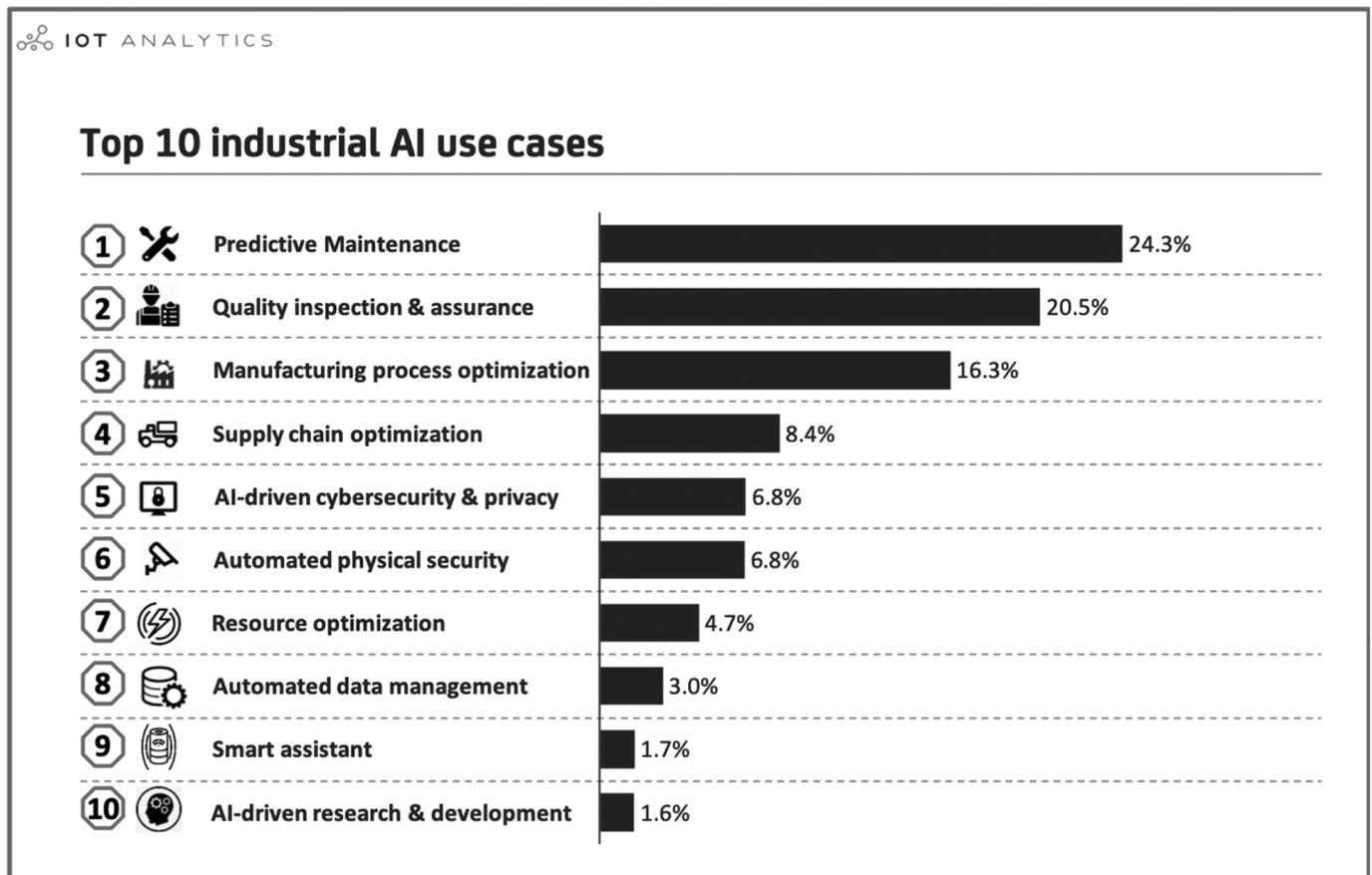


Рис. 2. Десять передовых промышленных направлений использования технологий ИИ. Отчет IoT Analytics о рынке промышленного ИИ 2020–2025

ризированной системой управления техническим обслуживанием и другими отраслевыми производственными системами, открывает новые возможности для управления рисками, повышения производительности и улучшения качества выпускаемой продукции [1].

Рассмотрим несколько примеров взаимодействия ИИ с производственными системами:

- Система управления производством (MES) управляет и контролирует производственные процессы в реальном времени. ИИ может значительно расширить функциональность MES, добавляя возможности прогнозирования, анализа данных и принятия решений. ИИ способен анализировать данные с датчиков и оборудования, предсказывать возможные сбои в производстве и предлагать оптимальные пути их устранения. Это позволяет минимизировать простои и повысить общую производительность.
- Система управления активами предприятия (EAM) отвечает за контроль процессов их своевременного технического обслуживания. ИИ может по-

мочь в оптимизации и контроле данных процессов.

- Система планирования ресурсами (ERP), на сегодняшний день, является одной и обеспечивающих подсистем, которая контролирует финансовые потоки, бюджетирование, планирование и реализацию закупок, производство продукции и управление персоналом. ИИ может расширить функциональные возможности ERP. Например, ИИ может анализировать текущую ситуацию на рынке и предсказывать спрос на выпускаемую продукцию. В качестве иллюстрации (на рисунке 3) представлено решение задачи автоматизации прогнозирования спроса.
- Система управления качеством продукции (QMS) отвечает за контроль качества производимой продукции. ИИ способен значительно ускорить процесс выявления брака и существенно минимизировать затраты на его устранение. На сегодняшний день, возрастает роль специалистов, которые тщательно контролируют технологические процессы производства и сертификации

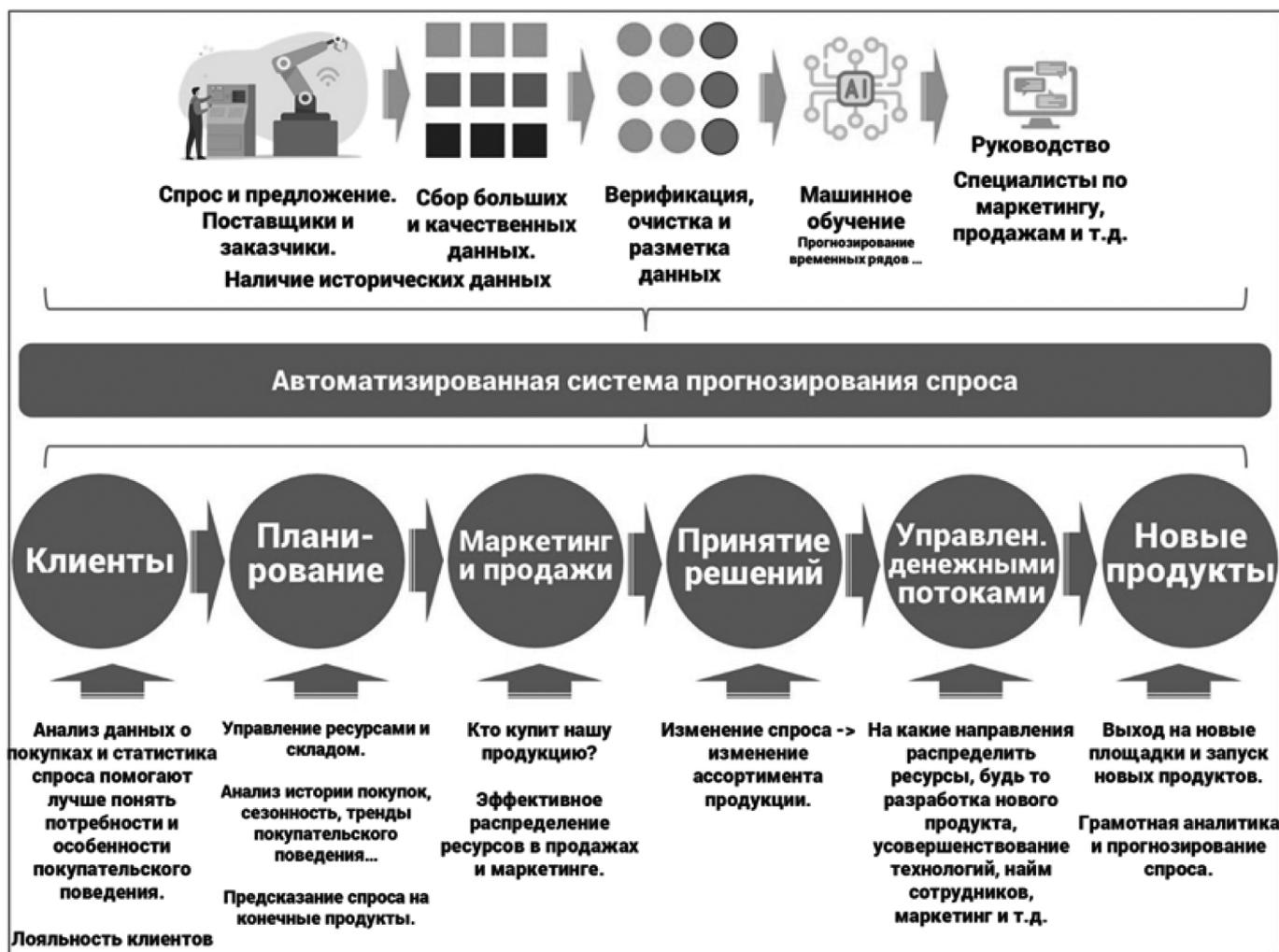


Рис. 3. Пример автоматизации прогнозирования спроса

соответствующей продукции с использованием интеллектуальных автоматизированных систем, которые умеют собирать, обрабатывать и анализировать соответствующую информацию. Существуют и специальные автоматизированные системы, которые осуществляют контроль качества воздуха, водоемов и сточных вод, радиационного фона и окружающей среды, на основе данных, собираемых специальными датчиками. Все эти системы требуют особых подходов в их создании и эксплуатации (от математического описания проблемы, программирования, сбора и верификации данных, моделирования, обработки и проверки результатов до получения итогового результата) [1]. На сегодняшний день, доля рынка систем автоматизации процессов контроля качества и обнаружение дефектов продукции на промышленных предприятиях составляет 20,5 %, что является существенной частью рынка промышленной автоматизации. В связи с тем, что на многих предприятиях технологический процесс производства продукции точно формализован,

сам процесс создания или совершенствования автоматизированных систем строго детерминирован. Четкое понимание того, как реализуется технологический процесс позволяет нам определить на каких этапах и для решения каких задач автоматизации будут использоваться те или иные информационные технологии сбора, обработки и анализа данных, в том числе позволяет оценить возможность и целесообразность применения технологий ИИ. Например, применение глубокого машинного обучения для анализа данных, получаемых с производственных линий, позволяет решить задачу контроля качества с высокой точностью и в режиме реального времени.

На рисунке 4 представлен пример технологического процесса контроля качества продукции, который раскрывает общий системный подход к его автоматизации.

Автоматизация входного контроля материалов и раннее обнаружение дефектов, позволяют

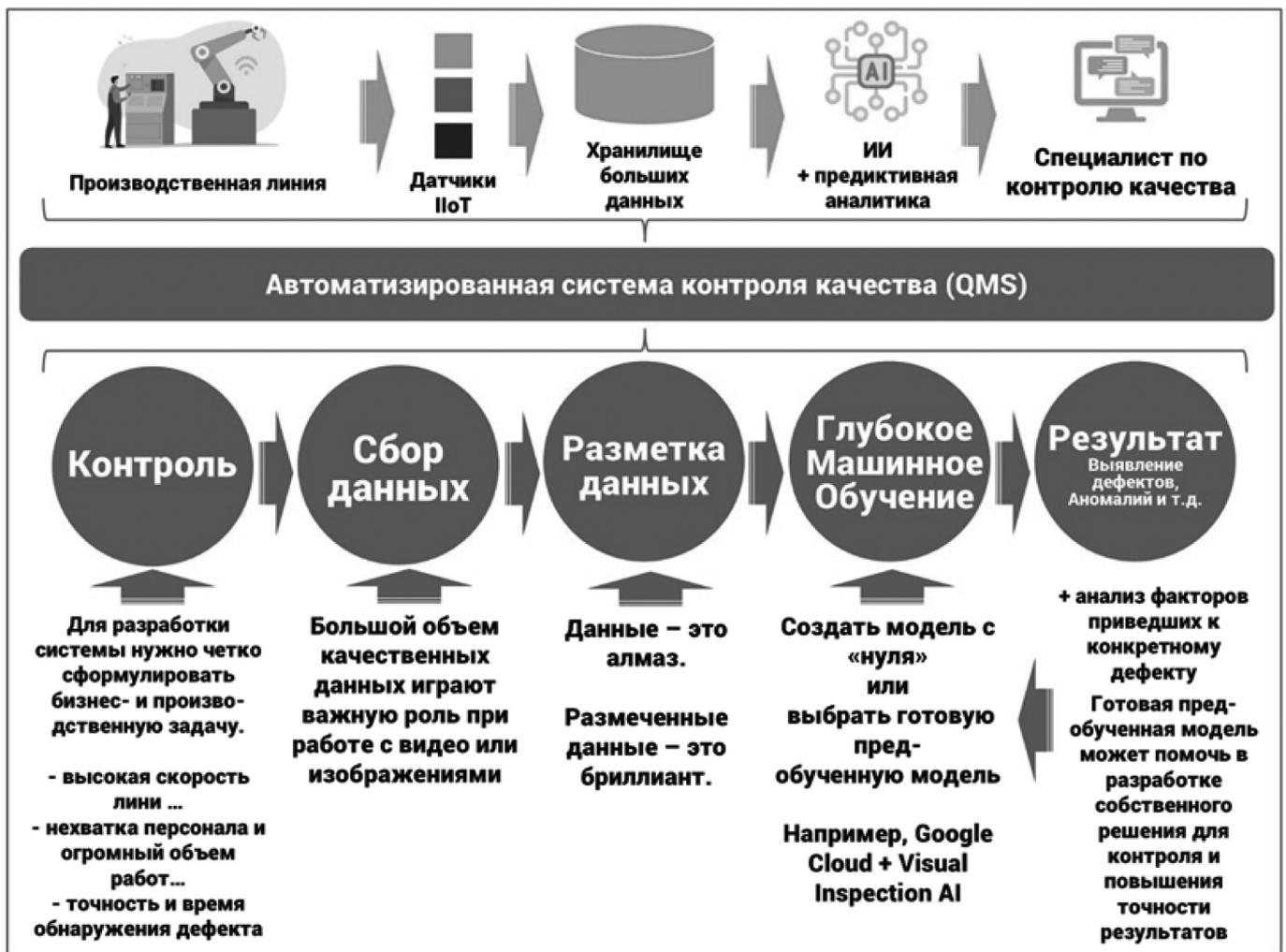


Рис. 4. Пример автоматизации процесса контроля качества продукции

предотвратить перемещение дефектной продукции по производственной линии, что сказывается на повышении качества выпускаемой продукции. В свою очередь, сбор и накопление исторических данных с производственных линий, посредством датчиков промышленного Интернета вещей, позволяют значительно улучшить работу промышленных систем контроля качества.

- ИИ и компьютеризированная система управления техническим обслуживанием (CMMS), которая управляет техническим обслуживанием оборудования. ИИ может значительно улучшить функциональность CMMS, предоставляя возможности прогнозной аналитики и автоматизации, в том числе на основании данных, полученных от автоматизированной системы прогнозируемого или предписывающего обслуживания. Прогнозируемое обслуживание — это часть стратегии развития промышленного предприятия и стратегия эксплуатации промышленного оборудования, в реализации которой используется дополнительное оборудование, программное обеспечение и новые технологии обработки и анализа данных для обнаружения неисправностей оборудования, устройств и технологических процессов с целью их устранения до того момента, как они выйдут из строя. Несомненно, важную роль в прогнозируемом обслуживании играет применение новых технологий ИИ. Они позволят современным предприятиям перейти от реактивного или превентивного обслуживания к прогнозируемому,

а в перспективе и к предписывающему обслуживанию.

В настоящее время задача прогнозируемого обслуживания является одним из ключевых мировых трендов в области промышленной автоматизации. Согласно данным, доля рынка промышленной автоматизации, связанная с этим направлением, составляет 24,3 %, что эквивалентно более 7,5 миллиардам долларов США. Ожидается, что к 2028 году объем этого рынка достигнет почти 14,28 миллиардов долларов США [2]. На рисунке 6 представлен пример процесса и подхода к автоматизации прогнозируемого обслуживания, а также его интеграции с производственными информационными системами.

ИИ занимает центральное место в обработке значительных объемов данных, поступающих от датчиков и промышленного оборудования. Ключевые задачи ИИ в рамках прогнозируемого обслуживания включают:

- Описательный анализ — выявление того, что произошло.
- Диагностический анализ — определение причин возникновения аномалий.
- Прогностический анализ — предсказание возможных отказов.
- Предписывающий анализ — рекомендации по устранению проблем.

Для решения этих задач используются различные методы ИИ, включая машинное обучение, глубокое ма-

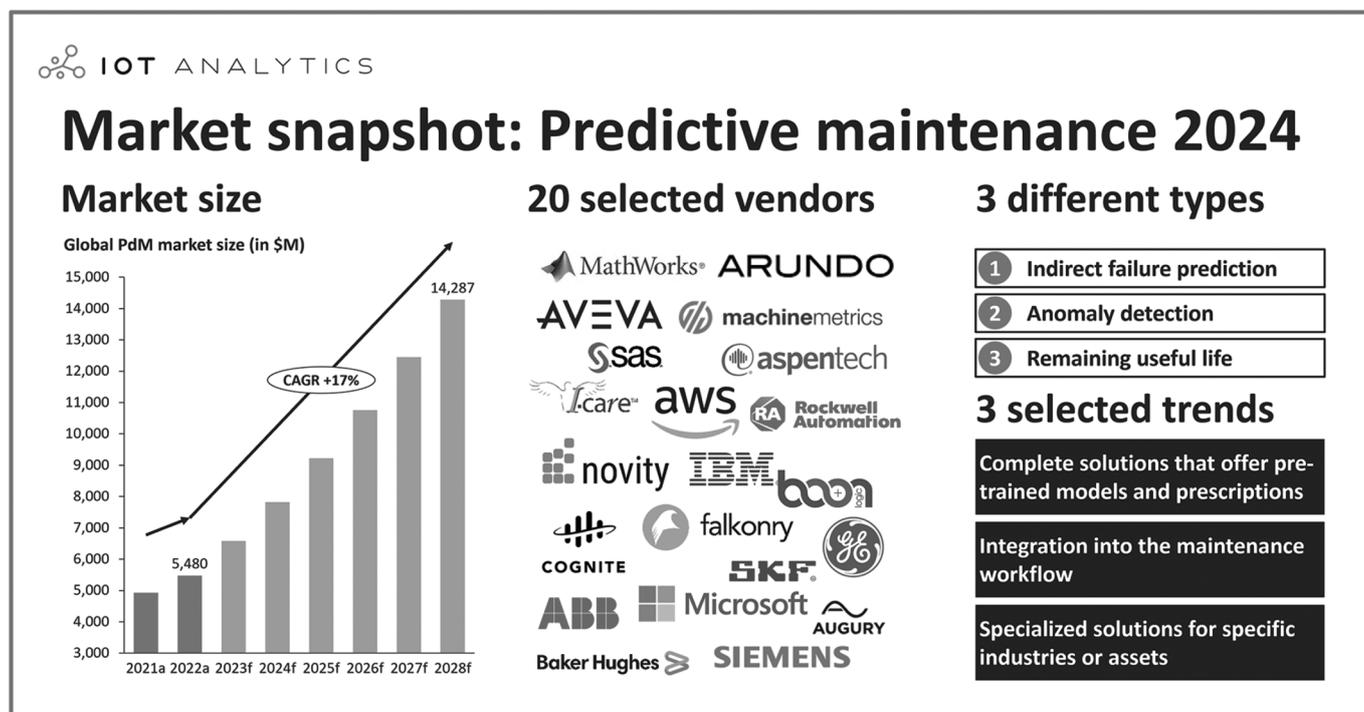


Рис. 5. Аналитический отчет IOT Analytics о рынке предиктивного технического обслуживания 2023–2028: 3 основных направления



Рис. 6. Пример автоматизации процесса прогнозируемого обслуживания

шинное обучение и другие. Для эффективной работы промышленных автоматизированных систем требуются большие вычислительные ресурсы, способные обрабатывать большие данные и выдавать точные прогнозы.

ИИ способен анализировать данные, собираемые датчиками и предсказывать возможность выхода из строя оборудования, что позволяет избежать незапланированных простоев в работе и снизить затраты на его ремонт. Кроме того, ИИ может оптимизировать графики технического обслуживания, учитывая множество факторов, таких как загруженность оборудования и доступность персонала, что делает процесс управления техническим обслуживанием более эффективным.

- Интеграция ИИ с другими промышленными автоматизированными системами. ИИ может быть интегрирован с другими отраслевыми системами, такими как системы управления цепочками поставок, системы управления энергопотреблением и системы управления персоналом. Все это позволяет создать единую цифровую экосистему

промышленного предприятия, которая охватывает все аспекты производственного процесса и обеспечивает максимальную эффективность, производительность и высокую конкурентоспособность на рынке.

Заключение

В ходе исследования определены ключевые информационно-технологические направления и технологии, которые активно используются при разработке и совершенствовании передовых автоматизированных систем прогнозируемого и предписывающего обслуживания. Определен перечень приоритетных задач автоматизации в производственной сфере для решения которых необходимо применение ИИ. Данное исследование позволит ученым и инженерам выработать новые подходы к решению задач автоматизации прогнозируемого и предписывающего обслуживания в промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чесалов А.Ю. (2024). Применение прорывных технологий искусственного интеллекта в промышленных экосистемах Индустрии 4.0 // Перспективные интеграционные процессы в мировой экономике: нооподход / Сборник материалов IX Санкт-Петербургского международного экономического конгресса (СПЭК-2024) / Под общ. ред. С.Д. Бодрунова. Том 2. — М.: ИНИР им. С.Ю. Витте, 2024. — С. 176–184.
2. Галкин Д.И., Чесалов А.Ю. (2023). Перспективы цифровой трансформации производителей оборудования неразрушающего контроля на примере опыта НИИИИ МНПО «СПЕКТР» // XXIII Всероссийская научно-техническая конференция по неразрушающему контролю и технической диагностике «Умные технологии НК. Единство теории и практики»: сб. тр. Москва, 23–25 октября 2023 г. С. 187–170. — М.: Издательский дом «Спектр». — С. 167–170.
3. Палюх Б.В., Чесалов А.Ю. (2023). Методологический подход к цифровой трансформации предприятий отрасли производителей оборудования неразрушающего контроля // «Инжиниринг предприятий и управление знаниями» (ИП&УЗ — 2023) : сборник научных трудов XXVI Российской научной конференции. 29–30 ноября 2023 г. / под науч. ред. Ю.Ф. Тельнова. — Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова». — С. 256–260.
4. Lee J, Lapira E, Bagheri B, Kao H. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manuf Letter* 2013;38:41. [Электронный ресурс] www.researchgate.net URL: https://www.researchgate.net/publication/262880066_Recent_advances_and_trends_in_predictive_manufacturing_systems_in_big_data_environment (дата обращения: 18.03.2025)
5. Explore Beyond GenAI on the 2024 Hype Cycle for Artificial Intelligence. [Электронный ресурс] www.gartner.com URL: <https://www.gartner.com/en/articles/hype-cycle-for-artificial-intelligence> (дата обращения: 16.03.2025)
6. Галкин Д.И., Ефимов А.Г., Чесалов А.Ю. (2024). Перспективы создания цифровой инфраструктуры данных в НК // Территория NTD — январь–март — 2024. — С. 62–65.
7. Болтенков А.А., Сарсенбаев Е.А., Селивёрстов М.В., Каликасов Н.Т. Интеллектуализация процессов контроля и управления электроконтактным нагревом при восстановлении деталей типа диск. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-202-08-102-107 [Электронный ресурс] cyberleninka.ru URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-protseessov-kontrolya-i-upravleniya-elektrokontaktnym-nagrevom-pri-vosstanovlenii-detaley-tipa-disk> (дата обращения: 22.03.2025)
8. The Top 10 Industrial AI use cases. [Электронный ресурс] iot-analytics.com URL: <https://iot-analytics.com/the-top-10-industrial-ai-use-cases/> (дата обращения: 04.03.2025)
9. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.A. (2015) A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. DOI: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001
10. Мячева Оксана Дмитриевна, Ефимова Евгения Аркадьевна. Автоматизированная система учета и контроля качества продукции в экспертной лаборатории. [Электронный ресурс] cyberleninka.ru URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-ucheta-i-kontrolya-kachestva-produktsii-v-ekspertnoy-laboratorii> (дата обращения: 16.03.2025)
11. Predictive maintenance market: 5 highlights for 2024 and beyond. [Электронный ресурс] iot-analytics.com URL: <https://iot-analytics.com/predictive-maintenance-market/> (дата обращения: 03.03.2025)

© Палюх Борис Васильевич (pboris@tstu.tver.ru); Чесалов Александр Юрьевич (achesalov@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОСПРИЯТИЯ СЛОЖНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С РАЗЛИЧНЫМ НАБОРОМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

ANALYSIS OF THE PERCEPTION QUALITY OF COMPLEX GRAPHICAL IMAGES WITH VARIOUS SETS OF CHARACTERISTIC PARAMETERS

**A. Savelyev
E. Zhidkov**

Summary. The article investigates the quality of human perception of complex graphical images, encompassing both dynamic control objects and static elements that vary in contrast, detail, and size. The study employs an eye-tracking toolkit to collect data on user gaze behavior during interaction with such images, enabling the analysis of visual strategies and perceptual characteristics. Particular attention is given to the influence of characteristic parameters — color saturation, contrast level, and object scale — on the sequence, duration, and accuracy of their recognition. The obtained data reveal patterns of user attention and provide insights into how different visual properties affect cognitive information processing. The results of applying the eye tracker in this research hold practical value for optimizing user interface design, enhancing data visualization, and developing adaptive graphical systems.

Keywords: vision, gaze, tracking, interpolation, Python, scatter plot, heatmap.

Савельев Алексей Александрович

Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана
savelevvaa@mail.ru

Жидков Егор Ильич

Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана
e.jidkov@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена исследованию качества восприятия человеком сложных графических изображений, включающих как динамические объекты управления, так и статичные элементы, различающиеся по контрастности, детализации и размеру. В работе применяется инструментальный трекер глаз для сбора данных взгляда пользователя при взаимодействии с такими изображениями, что позволяет проанализировать визуальные стратегии и особенности восприятия. Особое внимание уделено влиянию характеристических параметров — цветовой насыщенности, уровня контрастности и масштаба объектов — на последовательность, продолжительность и точность их распознавания. Полученные данные раскрывают закономерности внимания пользователя и дают представление о том, как различные визуальные свойства влияют на когнитивную обработку информации. Результаты применения трекера для исследования имеют практическую ценность для оптимизации дизайна пользовательских интерфейсов, улучшения визуализации данных и разработки адаптивных графических систем.

Ключевые слова: зрение, взгляд, отслеживание, интерполяция, python, диаграмма рассеивания, тепловая карта.

Введение

Современные системы визуализации данных и графические интерфейсы, применяемые в таких областях, как промышленность, медицина, транспорт и другие; и требуют высокой эффективности в передаче информации пользователю. Успешность этих систем определяется не только качеством отображения данных, но и тем, насколько точно они учитывают особенности человеческого восприятия сложных графических изображений. Такие изображения, включающие динамические объекты управления и статичные элементы с различной контрастностью, детализацией и цветовым оформлением, играют ключевую роль в интерактивных средах, где важно быстрое и точное распознавание визуальной информации.

Хотя анализ восприятия графических объектов традиционно предполагает наличие надёжных инстру-

ментов для регистрации визуального взаимодействия, разработка и тестирование таких инструментов остаются актуальными задачами. Динамические объекты управления и статичные элементы с варьирующимися характеристиками требуют детального изучения их восприятия, включая влияние контрастности, цветовой насыщенности и размера на внимание пользователя. Однако для проведения подобных исследований необходимы инструменты, способные корректно собирать и визуализировать данные о поведении взгляда.

Настоящее исследование сосредоточено на оценке применимости самописного трекера глаз для анализа процессов визуального восприятия [1] сложных графических изображений с различным набором характеристических параметров. Основная цель работы — изучить, способен ли разработанный трекер эффективно регистрировать данные о визуальном взаимодействии пользователя с различными графическим элементами,

а также отображать их в виде разных инфографик, пригодных для анализа восприятия. В рамках исследования проверяется точность сбора данных о последовательности, продолжительности и распределении внимания, что позволяет оценить потенциал трекера как инструмента для изучения когнитивных процессов и оптимизации визуальных систем, таких как пользовательские интерфейсы и средства визуализации данных.

Используемый инструментарий

В исследовании используется самописный трекер взгляда [2] пользователя и различные модули визуализации

полученных данных взгляда. Общий алгоритм работы системы представлен на рисунке 1. Изображение пользователя получается через веб-камеру компьютера. Производится анализ лица и разметка зрачков, и на основании изменения положения глаз, относительно их калибровочных положений, осуществляется расчёт области взгляда на экране.

Данные, которые регистрируются системой, представлены на рисунке 2. Светло-серые окружности — зоны взгляда пользователя, которые были рассчитаны во время тестирования. Серые окружности — зоны фиксации взгляда. Они рассчитываются отдельным алгорит-

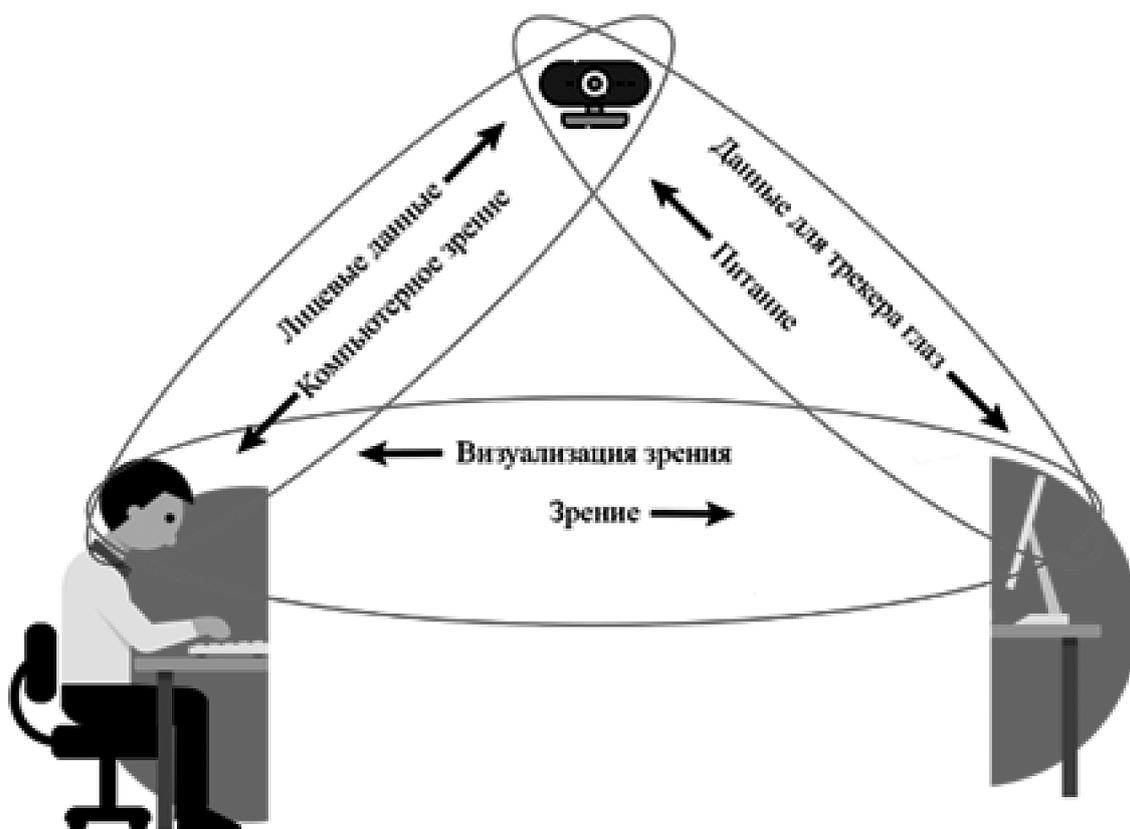


Рис. 1. Общий алгоритм работы системы

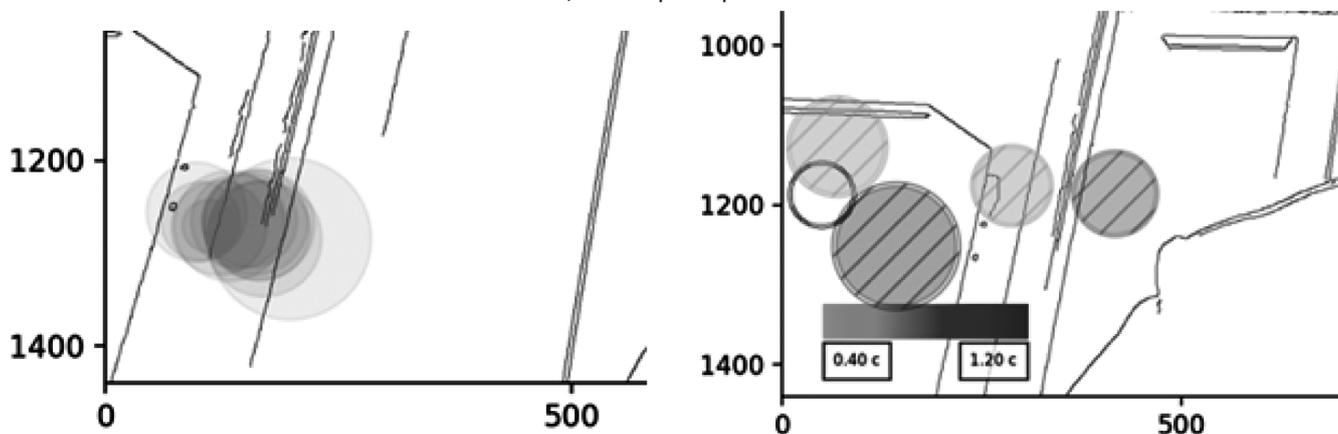


Рис. 2. Данные, регистрируемые системой

мом и позволяют получить информацию о временной составляющей взгляда.

Этапы работы системы можно представить последовательно следующим образом:

- 1) Калибровка;
- 2) Получение данных со средства видеозаписи;
- 3) Определение глаз человека;
- 4) Сбор координат зрения;
- 5) Получение соотношения координат зрения с объектом интереса;
- 6) Визуализация данных, полученных в результате соотношения.

Алгоритм регистрации фиксаций взгляда

Фиксация — это состояние, когда взгляд стабильно удерживается в одной области экрана, в отличие от быстрого перемещения взгляда, называемого саккадой.

В реализации алгоритма определены два ключевых пороговых значения. Первое — время фиксации взгляда. У человека оно варьируется в диапазоне от 100 до 600 мс. Для реализации данного функционала пороговое значение для регистрации фиксации было выбрано 300 мс, как середина диапазона.

Второе ключевое пороговое значение для фиксации — это максимальный радиус области фиксации. Оно установлено как 150 пикселей — это примерно 1.5 раз-

мера от фовеального зрения (1 градуса области зрения) [3], которое мы вычислили как 101 пикселей для экрана 13 дюймов с разрешением 2560 на 1440 пикселей при удалении глаз на 65 сантиметров. Расчет представлен уравнениями 1.

$$d = 89,35 \text{ px / см}, l = 2 \times 65 \times \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = 1,135 \text{ см}$$

$$R = 89,35 \times 1,135 = 101,4 \text{ px} \tag{1}$$

где d — плотность пикселей на сантиметр экрана, l — длина участка фовеального зрения ($\theta = 1^\circ$), R — радиус области фиксации взгляда.

Выбор порога в 1.5 размера фовеального зрения объясняется необходимостью учета небольших движений головы и глаз пользователя, которые могут происходить, пока он сфокусирован на одном объекте. Фиксация не обязательно строго ограничена областью в 1° , поскольку даже при удержании взгляда на определенной точке могут происходить малые перемещения взгляда внутри области. Это своего рода «зона допуска», позволяющая считать фиксацией удержание взгляда на области.

На рисунке 3 представлен пример расчета фиксации взгляда. В случае, если фиксация взгляда перешагнула за пороговое значение времени, мы начинаем отслеживание фиксации, отслеживания как именно взгляд вел себя. Чем больше разброс точек взгляда внутри фикса-

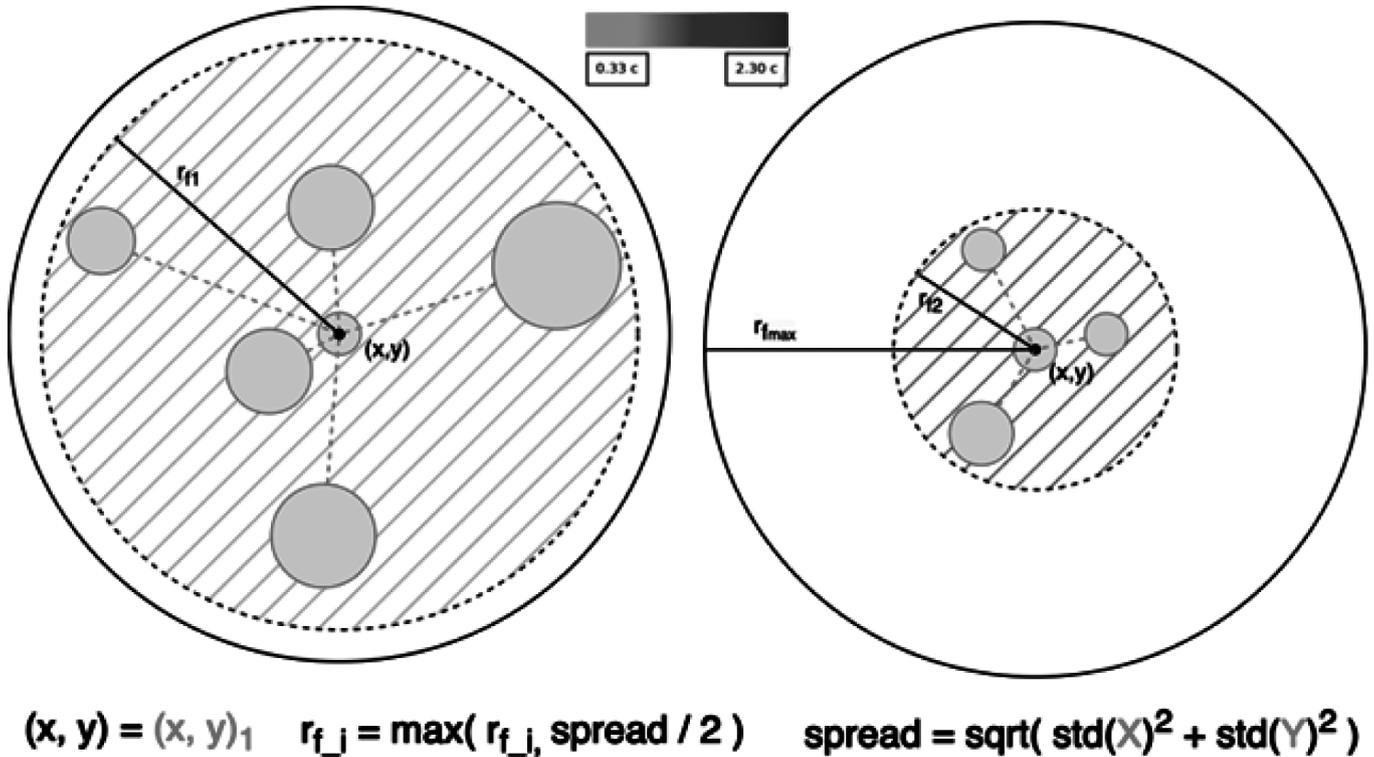


Рис. 3. Расчет фиксации взгляда

ции, тем больше будет ее окружность в последующем на визуализации. Чем дольше длилась фиксация по времени, тем более темнее будет ее синий цвет.

Исследуемые объекты управления

В рамках данного исследования тестировать будут два вида объектов управления. В качестве динамического объекта управления будет приходиться движущаяся по экрану цель — окружность, а пользователю будет предложено следить взглядом за ней (рисунок 4).

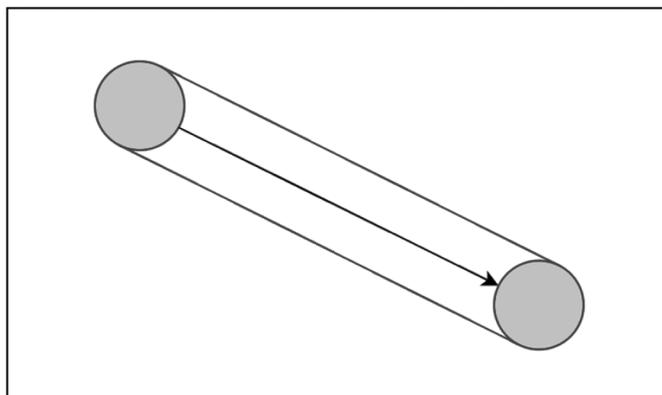


Рис. 4. Схема перемещения динамической цели по экрану

При этом будут собираться следующие метрики качества, для оценки точности отслеживания взгляда:

Точность (Accuracy) — эта метрика показывает долю попаданий рассчитанной области взгляда по движущейся цели (уравнение 2).

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{hits}}{\text{total}} \times 100 \quad (2)$$

Среднеквадратичная квадратичная ошибка (RMSE) — эта метрика показывает степень отклонения взгляда от центра целей, что помогает выявить систематические ошибки в отслеживании (уравнение 3).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_{\text{цели}})^2 + (Y_i - Y_{\text{цели}})^2} \quad (3)$$

Средняя дистанция до целей (mean_d) — это значение указывает, насколько в среднем взгляд пользователя близок к цели (уравнение 4).

$$\text{mean_d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i.$$

Второй категорией объектов управления будут ОУ с различной цветностью и контрастностью (рисунок 5).

Изображения с объектами каждый раз генерируются заново, случайно выбирая сетку расположения объектов, их размер и цвета. Во время тестирования пользователю показывается серия из трех сгенерированных изображений, каждое из которых остается на экране в течении 10 секунд. По записанным данным взгляда будет строиться диаграмма рассеивания и тепловая карта для их анализа.

В рамках данного исследования пользователю также будет предложено рассмотреть изображения летящего самолета, при этом на разных изображениях самолет имеет разный размер. Примеры изображений представлены на рисунке 6.

Все изображения показываются пользователю последовательно, первые три по 5 секунд, а последнее, где множество объектов разного размера — 10 секунд. Системой отслеживания взгляда ведется запись координат области взгляда и регистрация фиксаций.

Результаты тестирования

На рисунке 7 приведены две диаграммы рассеивания [4] для записанных данных взгляда при просмотре движущейся цели по экрану.

На рисунке 8 приведены две тепловые карты [5] для динамического ОУ, построенные по тем же данным.

При отслеживании взгляда, следящего за динамическим объектом, трекер показал достаточно высокую точность (~80 %) и небольшую среднеквадратичную ошибку (~10). Также системой были зарегистрированы небольшие фиксации взгляда во время слежения, вероятно потому, что цель выводится без заливки (только граница окружности), и пользователю не к чему было привязаться взглядом.

Тем не менее, по тепловой карте видно, что пользователь перемещал взгляд равномерно.

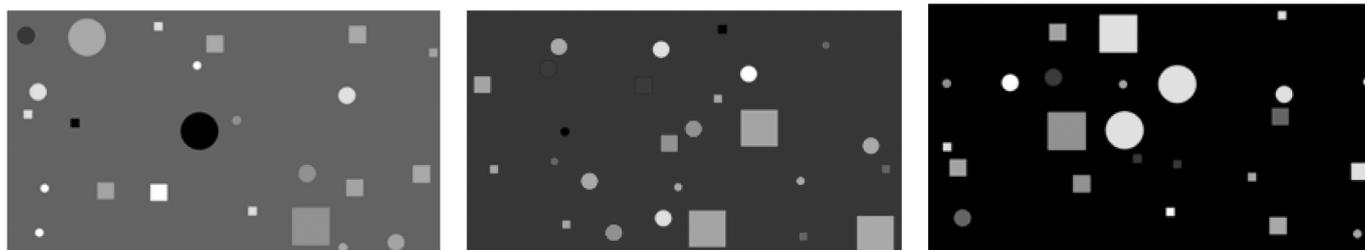


Рис. 5. Сгенерированные разноцветные объекты управления

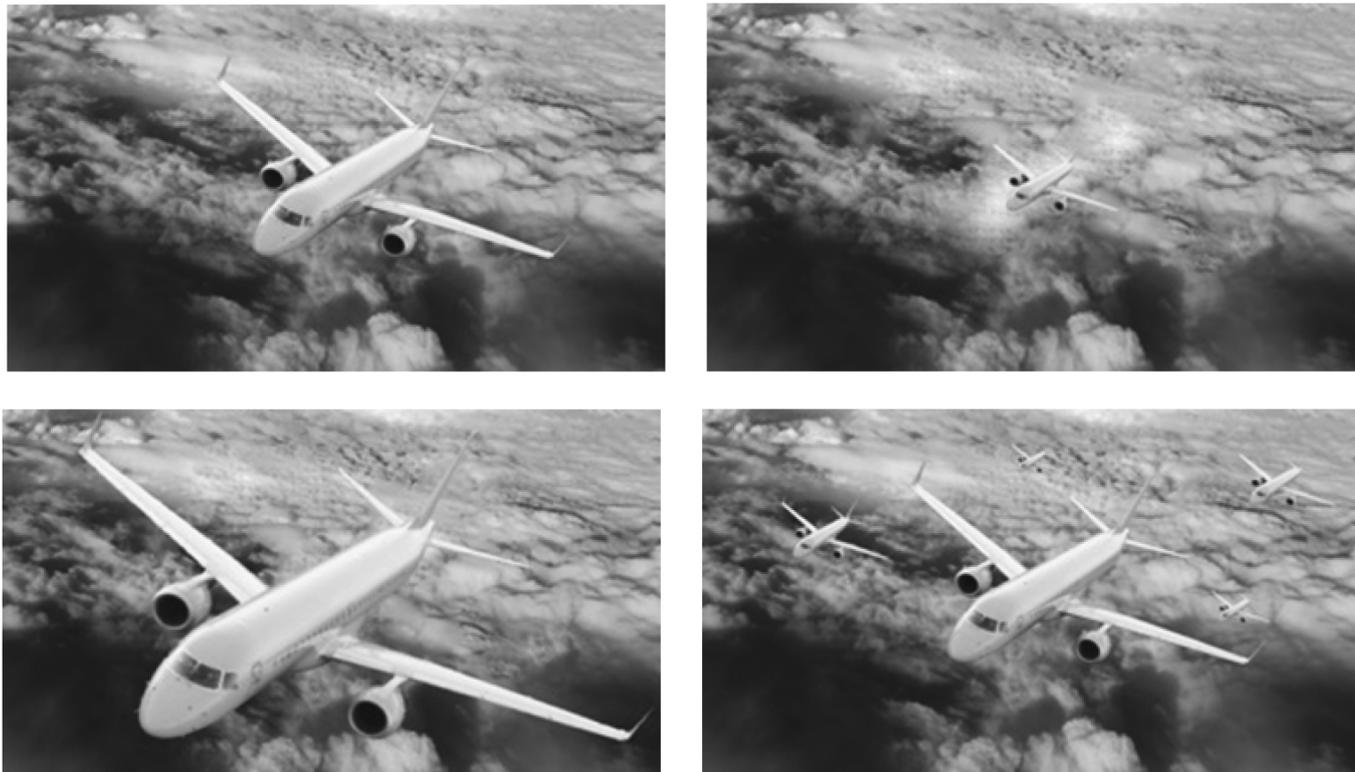


Рис. 6. Исследуемые объекты

На рисунке 9 представлены результаты просмотра пользователем сгенерированных картинок: диаграммы разбросы и тепловые карты взгляда. Изображения были сгенерированы со случайным набором цветовых сочетаний и вариативным размером изображенных на фоне объектов.

По полученным данным можно сказать следующее:

1. При начале показа очередного изображения, реакция взгляда пользователя составляет ~1 секунду.
2. Первым объектом, на который пользователь обращает внимание, является более контрастный, и чем от больше при этом, тем более контрастным его видит пользователь периферическим зрением.
3. Дальнейшая последовательность переключения взгляда пользователя так же зависит от контрастности очередного ОУ.
4. После обхода всех больших и контрастных объектов, за оставшееся время осматриваются остальные, малоконтрастные объекты.
5. По тепловым картам можно заключить, что на больших и высококонтрастных объектах пользователь задерживает взгляд дольше, чем на остальных.

Далее приведены результаты испытаний трекара и пользователя с объектом с высокой детализацией и варьируемым размером.

На рисунке 10 представлены результаты показа первого изображения самолета пользователю. На нем объект изображен в настоящем масштабе.

За отведенное время пользователь смотрел на остекление кабины пилотов, после чего переключил взгляд на конец фюзеляжа. На рисунке 11 представлены результаты показа изображения с уменьшенным в два раза объектом.

В данном случае видно, что пользователь практически не перемещал свой взгляд, а изучал представленный объект в общем. Интерес пользователя полностью сконцентрирован на объекте, что видно не только по диаграмме рассеивания, но и по тепловой карте.

В отношении изображения с объектом, увеличенным в полтора раза и содержащим больше различных деталей (рисунок 12) пользователь был более любопытен.

Трекер взгляда зафиксировал, как взгляд пользователя с центра самолета переместился на нос, потом поочередно на каждый из двигателей, после чего направился в сторону хвостового оперения. На носу самолета и на каждом из двигателей системой зарегистрированы фиксации взгляда (~0,5 с).

На рисунке 13 представлена визуализация поведения взгляда пользователя на появление изображения с множеством одинаковых объектов разного размера.

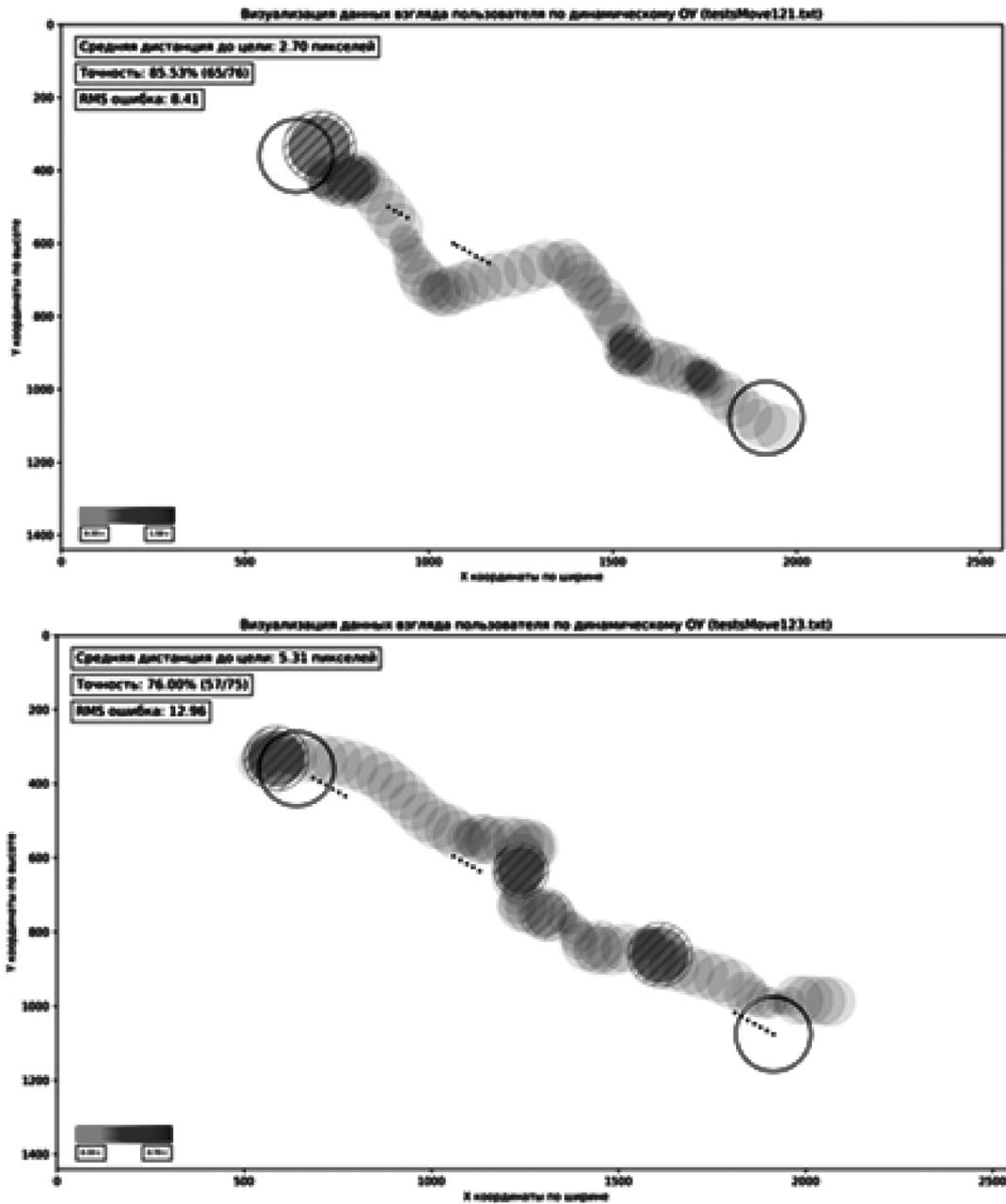


Рис. 7. Диаграммы рассеивания для динамического объекта управления

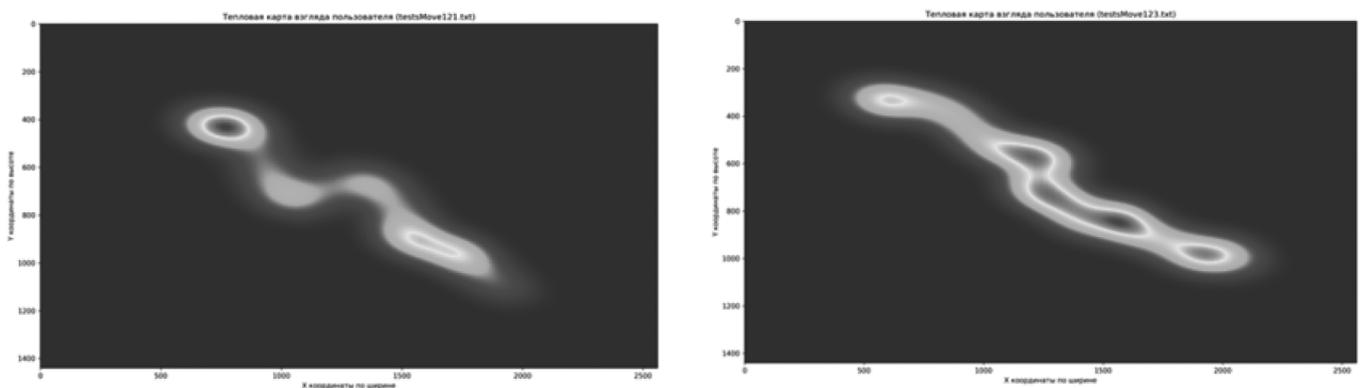


Рис. 8. Тепловые карты для динамического объекта управления

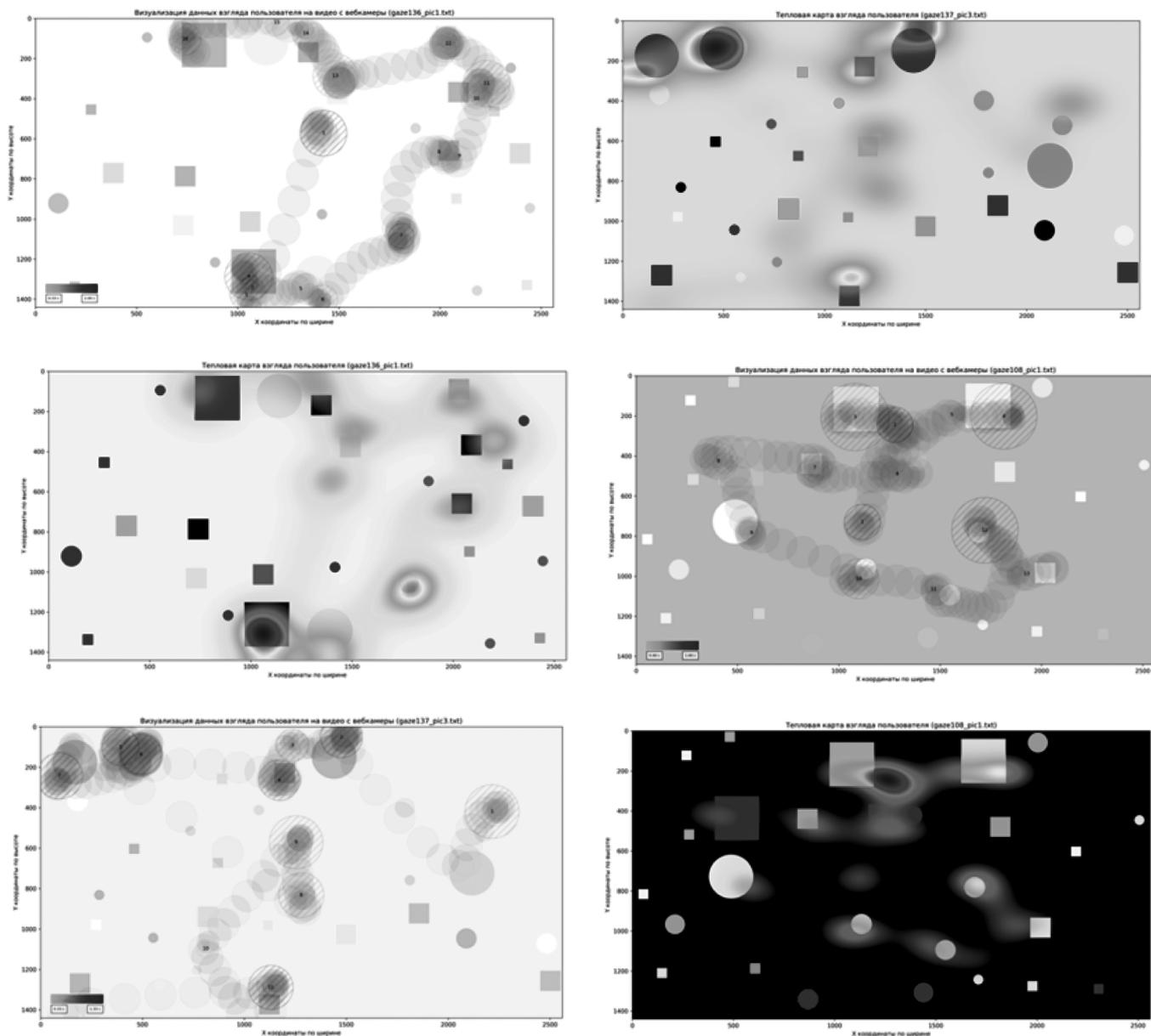


Рис. 9. Диаграммы разброса и тепловые карты для цветных контрастных ОУ

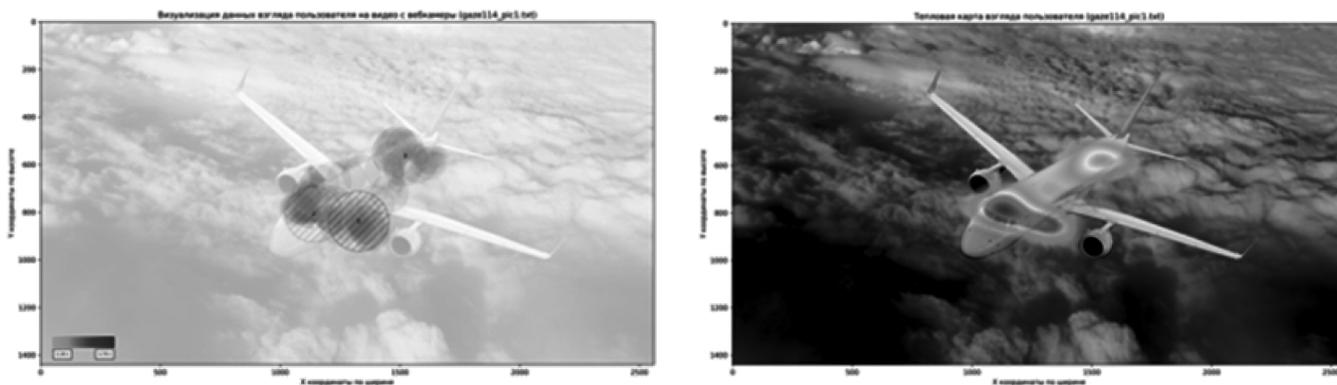


Рис. 10. Исследуемые объекты

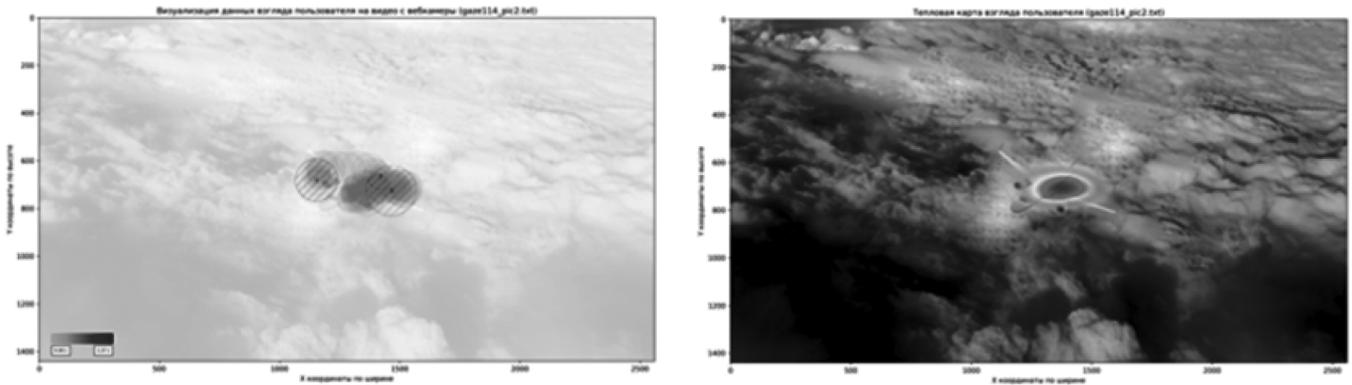


Рис. 11. Исследуемые объекты

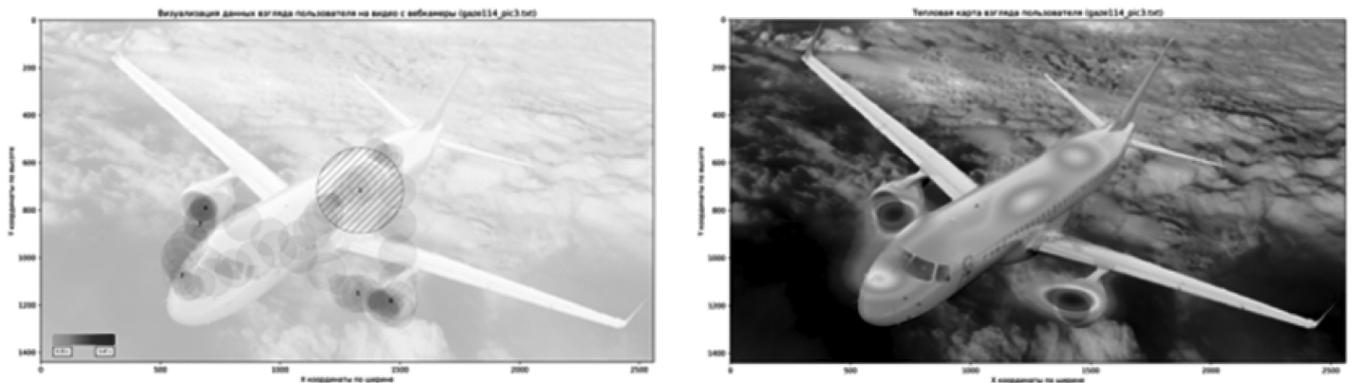


Рис. 12. Исследуемые объекты

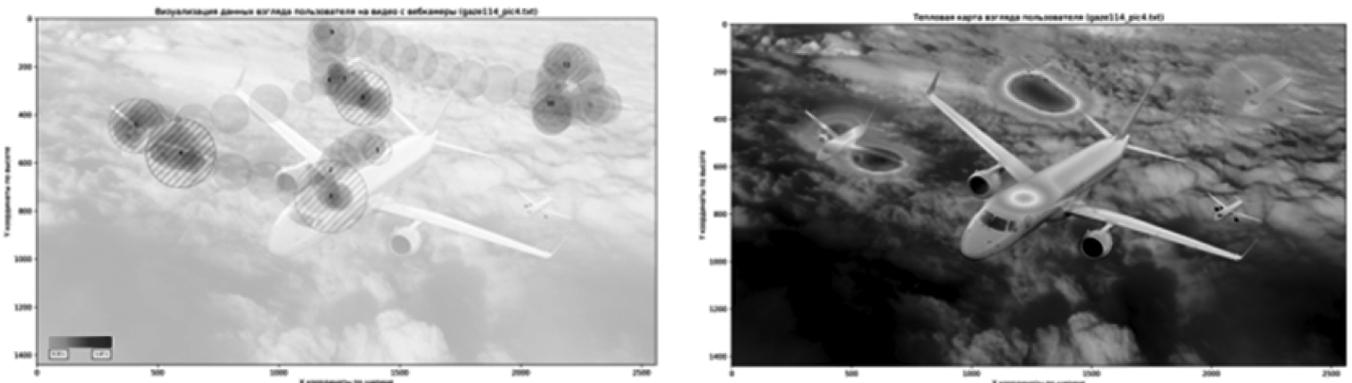


Рис. 13. Исследуемые объекты

На самолет, находящийся по центру, пользователь практически не смотрел. Его внимание привлекли новые объекты, появившиеся вокруг центрального. Трекер зафиксировал фиксации взгляда и его траектории движения между ними.

Анализ полученных результатов

Проведённые эксперименты с использованием самописного трекера глаз позволили собрать обширный массив данных о визуальном взаимодействии пользователя с графическими изображениями, отличающимися по динамике, контрастности, цвету, размеру и детализации. Анализ этих данных выявил ключевые особенности восприятия и подтвердил эффективность трекера как инструмента для подобных исследований.

При работе с динамическим объектом управления трекер продемонстрировал способность точно фиксировать траекторию движения взгляда, что подтверждается равномерным распределением внимания вдоль пути объекта. Система успешно зарегистрировала как само перемещения взгляда пользователя за целью, так и кратковременные фиксации, которые делал испытуемый, останавливая взгляд.

Исследование восприятия цветных контрастных объектов показало, что визуальные характеристики существенно влияют на распределение внимания. Пользователь демонстрировал склонность сначала фокусироваться на элементах с высокой контрастностью и насыщенностью цвета, что подчёркивает роль этих

параметров в привлечении внимания. Время реакции на новые изображения оставалось стабильным, а последовательность переключения взгляда отражала приоритетность объектов по их визуальной заметности. Это указывает на то, что трекер способен выявлять закономерности, связанные с влиянием цветовых и контрастных характеристик на когнитивные процессы.

Эксперименты с изображениями самолёта, варьирующегося по масштабу, выявили зависимость визуальных стратегий от размера объекта. На изображении с реальным масштабом пользователь применял аналитический подход, переключая внимание между ключевыми деталями. При уменьшении объекта наблюдалось более обобщённое восприятие, тогда как увеличение масштаба стимулировало детальное изучение с последовательным перемещением взгляда по элементам объекта. Эти различия подтверждают, что масштаб объекта влияет на глубину восприятия, а трекер эффективно фиксирует такие изменения в поведении взгляда. При анализе изображения с множеством объектов разного размера внимание пользователя сместилось на новые элементы, что демонстрирует эффект новизны и значимость вари-

аций размера в распределении внимания. Трекер точно зафиксировал траектории движения взгляда и длительность фиксаций, что позволяет использовать эти данные для изучения конкуренции объектов за внимание.

Заключение

Исследование подтвердило применимость самописного трекера глаз для анализа акцентов внимания [6] и восприятия сложных графических изображений с различными характеристиками. Трекер показал высокую надёжность в регистрации данных о визуальном взаимодействии, а созданные инфографики оказались эффективным инструментом для изучения зрительного поведения, позволяя выявить влияние контрастности, цвета и размера на внимание пользователя. Полученные результаты открывают перспективы для применения технологии в оптимизации интерфейсов, улучшении эргономики и разработке адаптивных [7] систем, а также в таких областях, как психология и реклама, где важно понимание когнитивных процессов и акцентов внимания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кухта, М.С. Восприятие визуальной информации: философия процесса / М.С. Кухта. — Томск: Томский государственный педагогический университет, 2004. — 202 с. — ISBN 5-89428-151-2. — EDN QXKDKR.
2. Горячкин, Б.С. Определение акцентов внимания с помощью интеллектуального самописного трекера глаз / Б.С. Горячкин, А.А. Савельев // *Computational Nanotechnology*. — 2024. — Т. 11, № 4. — С. 35–44. — DOI 10.33693/2313-223X-2024-11-4-35-44. — EDN FYRWAJ.
3. Основы оптимального стиля. Когнитивно-ориентированный анализ удобочитаемости текста программы // Фовеа, поле зрения. URL: https://habr.com/ru/companies/epam_systems/articles/517398/ (дата обращения: 12.10.2024).
4. Документация по модулю «`pyplot.scatter`» // Построение диаграмм рассеивания. URL: https://matplotlib.org/stable/api/_as_gen/matplotlib.pyplot.scatter.html (дата обращения: 28.09.2024).
5. Понятие тепловой карты. URL: <https://cloud.yandex.ru/docs/datalens/visualization-ref/heat-map-chart> (дата обращения: 25.09.2024).
6. Горячкин Б.С., Якубов А.Р., Аникин Ф.А. Исследование акцентов внимания для различных видов изображений с помощью самописного трекера глаз // *Научный журнал «Наукофера»*. Сетевое издание — Смоленск, № 5 (2), 2024. Раздел Технические науки. С. 336–346. DOI 10.5281/zenodo.11487319
7. Горячкин Б.С., Бобров Д.В. Эффективность принципов адаптивной вёрстки при разработке пользовательских интерфейсов // *Динамика сложных систем* — XXI век. 2023. Т. 17. № 1. С. 55–62. DOI 10.18127/j19997493-202301-04. EDN SEJPOZ.

© Савельев Алексей Александрович (savelevvaa@mail.ru); Жидков Егор Ильич (e.jidkov@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ТРАНЗАКЦИЙ НА БЛОКЧЕЙНЕ TON

Семенюк Тимофей Андреевич

аспирант, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых
rustfy@gmail.com

PERFORMANCE OPTIMIZATION OF TRANSACTIONS PROCESSING ON BLOCKCHAIN TON

T. Semenyuk

Summary. This article explores architectural and technical approaches to optimizing transaction processing performance in the TON blockchain ecosystem using a DEX protocol as a case study. The study addresses challenges such as high latency, gas fees, and the limitations of reactive trading under traditional interactions via external wallets. As a solution, the article proposes a transition to an intent-based interaction model, where users generate an intent to perform an operation without explicitly signing each transaction at the time of submission. This approach allows batching of requests, executing only essential steps on-chain, and significantly reducing network load. The core element of the proposed architecture is the SmartAccount, which enables non-custodial and programmable control over user funds. It operates alongside an embedded wallet and a sequencer system responsible for processing and finalizing user intents. The sequencer collects and orders intents in an off-chain execution queue, performs pre-validation, deduplication, and signature verification, and forms aggregated ExecuteBundles that are committed on-chain via a domain-specific smart contract. This results in high scalability, minimal response latency, and zero slippage. Comparative performance assessments are presented, along with recommendations for applying the intent-based processing model in high-load decentralized systems.

Keywords: blockchain, distributed ledger, transactional systems, distributed systems.

Аннотация. В статье исследуются архитектурные и технические подходы к оптимизации производительности обработки транзакций в экосистеме блокчейна TON на примере DEX протокола. Рассматриваются проблемы высокой задержки, стоимости газа и невозможности реализации реактивной торговли в условиях традиционного взаимодействия с внешними кошельками через внешние кошельки. В качестве решения предлагается переход к модели intent-based взаимодействия, в которой пользователь формирует интент (намерение) на выполнение операции без непосредственного подписания каждой транзакции в момент её отправки. Такой подход позволяет агрегировать запросы, выполнять onchain-подтверждение только ключевых шагов и значительно снизить нагрузку на сеть. Благодаря этому достигается высокая масштабируемость, минимальные задержки отклика и нулевое проскальзывание цен. Представлены сравнительные оценки производительности и даются рекомендации по применению модели intent-based процессинга в высоконагруженных децентрализованных системах.

Ключевые слова: блокчейн, технологии распределенных реестров, транзакционные системы, распределенные системы.

Введение

Финансовые транзакции и цифровые активы являются одними из ключевых применений блокчейн-технологий. С развитием децентрализованных бирж (DEX), протоколов кредитования, стейблкоинов и цифровых валют центральных банков (CBDC) возникает потребность в высокопроизводительных инфраструктурах, способных обрабатывать тысячи операций в секунду с минимальной задержкой. Текущие ограничения по масштабируемости, стоимости газа и времени финализации транзакций затрудняют применение классических блокчейн-платформ для реализации реактивных торговых стратегий, микроплатежей и автоматизированных систем управления активами [1].

Дополнительной критически важной характеристикой финансовых систем на блокчейне является их некастодиальность — принцип, по которому пользователи сохраняют полный контроль над своими средствами без необходимости доверять посредникам. Это обеспечивает безопасность, прозрачность и совместимость с децентрализованными протоколами.

TON (The Open Network) представляет собой высокопроизводительный блокчейн с поддержкой шардирования и быстрой финализацией блоков. Однако при построении систем высокочастотной торговли остаются ограничения по времени реакции, связанному с двухфазной ончейн-обработкой, необходимостью пользовательской подписи каждой транзакции и затратами на газ.

Финансовые транзакции и цифровые активы являются одними из ключевых применений блокчейн-технологий. С развитием децентрализованных бирж (DEX), протоколов кредитования, стейблкоинов и цифровых валют центральных банков (CBDC) возникает потребность в высокопроизводительных инфраструктурах, способных обрабатывать тысячи операций в секунду с минимальной задержкой. Текущие ограничения по масштабируемости, стоимости газа и времени финализации транзакций затрудняют применение классических блокчейн-платформ для реализации реактивных торговых стратегий, микроплатежей и автоматизированных систем управления активами.

TON (The Open Network) представляет собой высокопроизводительный блокчейн с поддержкой шардирования и быстрой финализацией блоков. Однако при построении систем высокочастотной торговли остаются ограничения по времени реакции, связанному с двухфазной ончейн-обработкой, необходимостью пользовательской подписи каждой транзакции и затратами на газ.

Одним из краеугольных камней в построении доверенной блокчейн-инфраструктуры является обеспечение безопасности при сохранении гибкости пользовательского опыта и обеспечения критериев высокой производительности, снижения времени отклика (latency) и увеличения количества обрабатываемых заявок во времени (throughput). В контексте intent-based execution и некастодиальных решений особое значение приобретает продуманная криптографическая модель, обеспечения достаточного уровня криптографической безопасности [2].

Intent-based Protocol реализует двухуровневую систему аутентификации, в которой пользовательские действия авторизуются не глобальным приватным ключом, а уникальным *embedded*-ключом устройства (*DeviceID*), зарегистрированным в *SmartAccount*. Эти ключи могут быть отозваны, переустановлены или ограничены по типу и частоте операций.

Для подписи ордеров используется алгоритм *Ed25519* [3], такой криптографический алгоритм асимметричной подписи поддерживается нативно в экосистеме TON. Это обеспечивает компактность подписей, высокую скорость проверки, низкую стоимость газа и совместимость с существующей логикой смарт-контрактов. Подписи проверяются в Sequencer до агрегации и повторно валидируются on-chain в Intent-Based Execution Protocol.

Важно, что модель исключает передачу приватных ключей в сеть или необходимость взаимодействия с внешним кошельком в момент исполнения. Это достигается благодаря переносу доверия с внешнего интерфейса на авторизованное устройство пользователя, что

снижает риск фишинга, вредоносных расширений и потери контроля над аккаунтом.

Проблемы пользовательского опыта и масштабируемости в блокчейне

Современные блокчейн-платформы стремятся обеспечить не только безопасность и децентрализацию, но и приемлемое качество пользовательского опыта (UX), особенно в контексте частых, мелких или автоматизированных операций. Однако анализ существующих решений на популярных блокчейнах (Ethereum, Solana, BNB Chain, Polygon) показывает, что большинство из них сталкиваются с рядом ограничений:

- необходимость подтверждения каждой транзакции пользователем вручную или через интерфейс кошелька;
- высокая стоимость газа при интенсивных вызовах (даже на L2);
- отсутствие согласованного механизма предварительных интенгов и асинхронного исполнения;
- значительная зависимость задержек от сетевой конгестии и времени блоков.

Для улучшения UX в последние годы появляются модели, ориентированные на оптимизацию взаимодействия пользователя с сетью:

- batching (агрегация вызовов);
- session keys и ephemeral auth;
- account abstraction (ERC-4337) [4];
- intent-based execution (Espresso, Anoma, StarkNet).

Описание Intent-Based execution модели

Подход *intent-based execution* предлагает концептуально новую модель взаимодействия пользователя с блокчейном. Вместо немедленного подписания транзакции и её публикации в сеть, пользователь формирует «интент» — цифровое описание желаемого действия, подписанное авторизованным устройством или ключом. Этот интент может быть обработан off-chain сервисами, агрегирован, упорядочен и затем выполнен через on-chain подтверждение без необходимости участия пользователя в момент исполнения.

Ключевые особенности подхода:

- Асинхронность: интенги могут быть созданы заранее и обработаны без немедленного участия пользователя;
- Гибкость: обработка интенгов может зависеть от внешних условий (например, рыночной цены);
- Экономичность: группировка интенгов в пачки снижает стоимость газа на единицу операции;
- Улучшенный пользовательский опыт: отсутствие модальных окон подтверждения, реактивность и предсказуемость исполнения.

В контексте архитектуры *Intent-Based Execution*, интенты реализуются через структуру сообщения, подписанного встроенным приватным ключом. Пользовательские сообщения обрабатываются в *offchain* в сервисе (*sequencer*), который проверяет подписи, проверяет валидность пользовательского сообщения, дедуплицирует дублирующие запросы и формирует агрегированные *ExecuteBundle* для *on-chain* исполнения на блокчейне.

Тем не менее, ни одно из решений не стало универсальным стандартом, а применение подобных подходов в TON до сих пор ограничено. Современные блокчейн-платформы стремятся обеспечить не только безопасность и децентрализацию, но и приемлемое качество пользовательского опыта (UX), особенно в контексте частых, мелких или автоматизированных операций. Однако анализ существующих решений на популярных блокчейнах (Ethereum, Solana, BNB Chain, Polygon) показывает, что большинство из них сталкиваются с рядом ограничений:

- необходимость подтверждения каждой транзакции пользователем вручную или через интерфейс кошелька;
- высокая стоимость газа при интенсивных вызовах (даже на L2)
- отсутствие согласованного механизма предварительных интентов и асинхронного исполнения;
- значительная зависимость задержек от сетевой конгестии и времени блоков.

Тем не менее, ни одно из решений не стало универсальным стандартом, а применение подобных подходов в TON до сих пор ограничено. Анализ пользовательского опыта на примере DEX на TON показывает, что при взаимодействии с кошельками через *ton-connect* возникают задержки:

- высокая стоимость газа при частом исполнении;
- необходимость подтверждения каждой операции в внешнем кошельке;
- задержки, связанные с распространением и подтверждением транзакций в TON (до 1 минуты).

Это делает невозможным, например, эффективную реализацию 1-кликерной торговли и реактивных стратегий на быстро меняющемся рынке.

Архитектура Intent-Based Execution Protocol

Пользователь создает персональный SmartAccount, связанный с мастер-адресом через ончейн-сообщение от главного кошелька. Он может привязать одно или несколько устройств (DeviceID), каждое из которых может подписывать сообщения без участия внешнего кошелька с помощью встраиваемого кошелька (embedded wallet).

Свойства SmartAccount контракта:

- некастодиальный: доступ к средствам сохраняется за пользователем;
- изолирован от внешнего вывода средств вне протокола;
- управляется через смарт-контракт, проверяющий подписи устройств.

Вместо немедленной ончейн-обработки каждый ордер пользователя отправляется в модуль Sequencer, где:

- превалидируется пользовательское сообщение, устанавливаются необходимые дополнительные параметры (например, время приема сообщения);
- упорядоченные сообщения формируют список исполняемых заявок;
- формируется *ExecuteBundle* каждые N секунд и передается в смарт-контракт исполнения заявок

Экспериментальным путем выявлено что *ExecuteBundle* может содержать до 100 ордеров и агрегированно передаётся в смарт-контракт в блокчейн TON, что снижает издержки газа до ~2.5 раз.

Оптимизация задержек и масштабируемости

End-to-End Latency: для пользователя задержка остается фиксированной фиксированная и зависима только от пользовательского интерфейса и скорости обработки *offchain*. Задержка между созданием и обработкой (финализацией) заявки на блокчейне достигает 40с и ограничивается исключительно пропускной способностью блокчейна.

При оптимизации процесса генерации блоков, например, генерация блоков со средним временем в 1 секунду, задержка финализации на блокчейне уменьшается до 10 секунд, и ограничивается только реализацией протокола доменной области блокчейна.

Количество операций в секунду ограничено только числом активных SmartAccount, что обеспечивает теоретически неограниченную масштабируемость из-за динамического шардирования архитектуры блокчейна

Таблица 1. Сравнение с классической моделью TON

Метрика	Классическая модель	Intent-based Protocol
Подписание	Через внешний кошелек	Signless embedded wallet
Газ	Высокий (1 txn = 1 msg)	Агрегация, -2.5x затрат
Финализация	По 1 ордеру	Агрегированные интенты
Масштабируемость	Ограничена seqno контракта кошелька	Параллельно (SmartAccount * N)

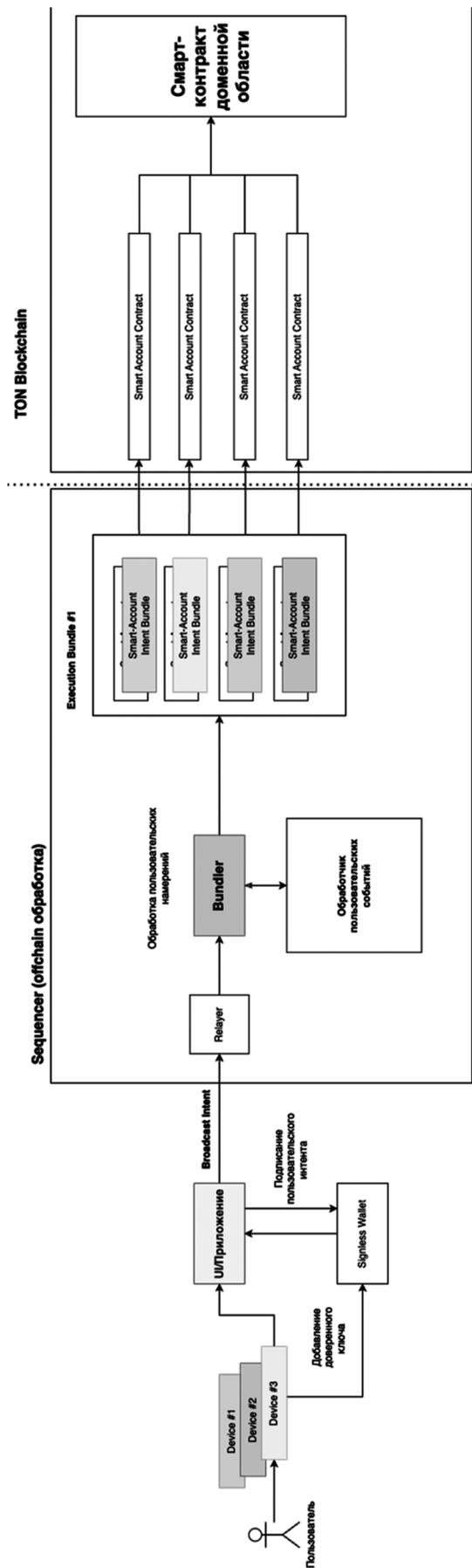


Рис. 1. Архитектура предлагаемого решения

TON, данное основание валидно в случае, если смарт-контракты распределены равномерно по шардам блокчейна.

На рис. 2 приведены результаты имитационного моделирования, при котором сравнивались решения классической обработки транзакций на блокчейне и intent-based архитектуры.

Применимость модели за пределами финансового сектора

Архитектура intent-based execution, реализованная в Intent-based Protocol, применима не только к финансовым операциям, но и к широкому спектру нефинансовых сценариев взаимодействия в децентрализованных системах.

Supply Chain (цепочки поставок)

- **Отложенное исполнение заказов:** поставщик может выпустить интент на отгрузку после получения цифрового подтверждения платежа или сертификации;
- **Автоматизация логистики:** интенты могут триггерить перемещение товаров, обновление статуса доставки или начисление страховки без необходимости подтверждения вручную;

- **Верификация происхождения:** участники цепочки могут подписывать последовательные интенты, фиксирующие происхождение продукции.

IoT и Smart City

- Датчики и устройства могут выпускать интенты на запись событий (например, превышение порога температуры) или запросы к инфраструктуре (например, активация освещения);
- Автоматические контракты реагируют на события, поступающие от авторизованных устройств, без участия пользователя;
- Групповое исполнение: пачки интентов от разных устройств могут агрегироваться и обрабатываться атомарно.

DAO и управление

- Голосование через интенты: участники выпускают интенты, отражающие голос или инициативу, которые агрегируются и финализируются в блокчейне;
- Программируемое участие: интенты могут содержать условия, при которых голос должен вступить в силу (например, при достижении кворума).

Таким образом, intent-based архитектура представляет собой универсальный механизм асинхронного и мас-

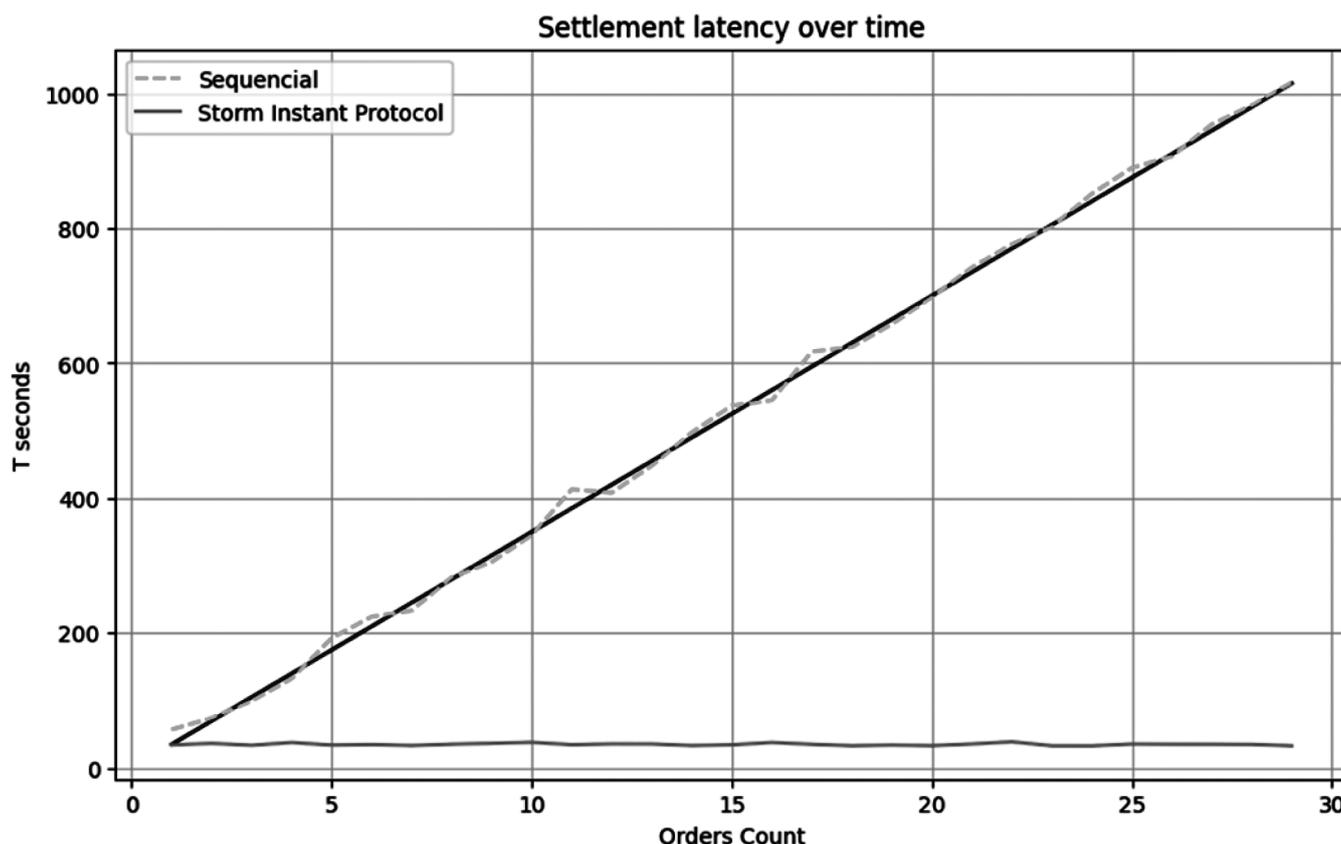


Рис. 2. Результаты моделирования обработки пользовательских сообщений

штабируемого взаимодействия между пользователями и смарт-контрактами, выходящий далеко за рамки торговли или DeFi.

Заключение

Архитектура intent-based на базе блокчейна TON демонстрирует принципиально иной подход к построению высокопроизводительной DEX-платформы. Ис-

пользование смарт-аккаунтов, встроенных кошельков и промежуточной агрегации позволяет достичь уровня производительности, ранее недоступного в классических блокчейн-сценариях.

Такая модель может быть расширена на другие сферы, включая DeFi, игровые приложения и автоматизированные торговые системы, где важна мгновенная реакция, низкие комиссии и высокая масштабируемость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Володкевич С.И. Современные условия и источники формирования цифровых навыков субъектов малого и среднего предпринимательства // Креативная экономика. 2020. Т. 14. №4. С. 485–496.
2. Демидов Н.В. Трудовое право: учеб. пособие для вузов / ред.-сост. Н.В. Демидов. М.: Издательство Юрайт, 2023. 203 с.
3. Крымский А.И. Правовое регулирование трудовых отношений в субъектах малого предпринимательства: дис. ... канд. юрид. наук. Томск, 2004. 229 с.
4. Кузнецова Н.В., Золотарева Л.Г. Особенности документационного обеспечения работы с персоналом у субъектов малого и среднего предпринимательства // Активизация интеллектуального и ресурсного потенциала регионов: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 284–289.
5. Куренной А., Костян И., Хныкин Г. Цифровая экономика России. Электронное делопроизводство трудовых отношений // ЭЖ-Юрист. 2017. № 37. С. 10.
6. Парфенова Д.С., Перцева П.В. Зарубежный опыт цифровизации в социально-трудовых отношениях // Исследование инновационного потенциала общества и формирование направлений его стратегического развития: сборник научных статей 9-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 14–20.
7. Пряженников М.О. Дифференциация локального правового регулирования в зависимости от масштаба предприятия // Трудовое право в России и за рубежом. 2016. № 4. С. 20–23.
8. Щербак С.С. Расширение дифференциации в трудовом законодательстве Российской Федерации в зависимости от объема предпринимательской деятельности работодателя // Право и экономика. 2017. № 10. С. 63–69.
9. Иванова Ж.Б. Интерактивный игровой процесс в преподавании юридических дисциплин // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2017. — Т. 9. — С. 40–43. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [/e-koncept.ru/2017/870007.htm](http://e-koncept.ru/2017/870007.htm): (дата обращения: 01.02.2024).
10. Колесова Д.В., Харитонов А.А. «Игра слов: во что и как играть на уроках русского языка». С-П.: Златоуст, 2011 — с. 152.

© Семенюк Тимофей Андреевич (rustfy@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Тырышкин Сергей Юрьевич

кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул
service.vip-spe@yandex.ru

OPTIMIZATION OF THE PROCESS MANAGEMENT STRATEGY IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

S. Tyryshkin

Summary. With the development of digitalisation, the Fourth Industrial Revolution, process control systems have reached a new level, offering higher levels of accuracy, flexibility and automation that were unimaginable in the past. However, with the advent of innovation, breakthrough solutions, and increasing complexity of industrial systems, the range of sources of uncertainty that can affect process performance, stability, and reliability has expanded significantly. Uncertainties can arise from modelling errors, parameter variations, external disturbances, measurement noise and nonlinearities. In this context, the need to optimise the control strategy of technological processes under uncertainty is relevant, and the use of new approaches and methods for handling random perturbations is of particular importance. The article describes an approach to optimisation of control strategy based on fuzzy logic, which allows to combine different control objectives, and to provide realistic and robustness with respect to input and output constraints.

Keywords: management, uncertainty, strategy, fuzzy logic, optimisation, modelling.

Аннотация. С развитием цифровизации, Четвертой промышленной революции системы управления технологическими процессами вышли на новый этап, предлагая более высокий уровень точности, гибкости и автоматизации, который был невообразим в прошлом. Однако с появлением инноваций, прорывных решений и усложнением промышленных систем значительно расширился спектр источников неопределенности, которые могут повлиять на производительность, стабильность и надежность технологических процессов. Неопределенности могут возникать из-за ошибок моделирования, вариаций параметров, внешних возмущений, шумов измерений и нелинейностей. В данном контексте актуальной является необходимость оптимизации стратегии управления технологическими процессами в условиях неопределенности, также особую значимость приобретает использование новых подходов и методов обработки случайных возмущений. В статье описан подход к оптимизации стратегии управления, основанный на нечеткой логике, который позволяет объединить разные цели управления, и обеспечить реалистичность и устойчивость контроля по отношению к входным и выходным ограничениям.

Ключевые слова: управление, неопределенность, стратегия, нечеткая логика, оптимизация, моделирование.

Значительная часть современных предприятий, на которых стремительными темпами внедряются достижения Четвертой промышленной революции, инновационные технологии и прорывные решения становятся комплексными, высокотехнологичными системами. Отличительной особенностью этих систем является влияние внешних и внутренних факторов, определяющих их технологические и энергетические потоки. Эти непредсказуемые эффекты создают условия неопределенности и наделяют процессы функционирования стохастическими признаками. Неопределенность влияет на все этапы жизненного цикла технических систем, от проектирования и производства до их использования, даже за пределами фазовых границ [1].

Важность управления процессами в промышленных системах невозможно переоценить. Это основа любой операции, гарантирующая бесперебойность и эффективность ее осуществления. Поддерживая переменные процесса в желаемом диапазоне, управленческое воздействие помогает минимизировать отходы, сократить

время простоя и улучшить качество продукции. Как правило, неопределенность в контурах управления технологическими процессами возникает из-за недостатка знаний о самой системе или среде, в которой она функционирует. Это может быть вызвано: недетерминированной связью между входными и выходными переменными системы, слишком сложным представлением самой системы и неожиданными изменениями характеристик системы из-за сбоя или изменяющихся во времени свойств. Кроме того, неопределенности возникают из-за непредсказуемой и мгновенной изменчивости различных условий технологического процесса, таких как температура и давление в соединенных рабочих установках, скорость (рециркуляционного) потока и/или его состав, или из-за определенных параметров модели, таких как кинетические константы или параметры равновесия [2]. Эти неопределенности или возмущения часто представляют собой многомерные и коррелированные стохастические последовательности, которые оказывают цепное воздействие на каждую операцию производственной линии.

В связи с тем, что в большинстве случаев источники неопределенности достаточно проблематично формализовать с физической точки зрения, в литературе предлагается несколько подходов, которые позволяют обрабатывать неопределенности при управлении технологическими процессами с помощью различных методов и инструментов. Так, например, в десятках различных областей появляются новые инструменты и перспективы для реализации управленческого влияния в условиях, характеризующихся высокой изменчивостью. Это может быть бережливым запуском, дизайн-мышлением или гибкой разработкой, которые революционизируют способы контроля за технологическими системами. Также свое применение на практике находят методы классического управления, оптимального управления и робастного управления. Достаточно часто можно встретить ситуацию, когда в промышленной практике неопределенности обычно компенсируются с помощью консервативных решений, таких как перепроектирование технологического оборудования с последующей модернизацией для преодоления узких мест в работе, или переоценка рабочих параметров, вызванная предположениями о наихудшем уровне неопределенных параметров, что приводит к значительному ухудшению объективной функции в задаче оптимизации [3].

Не подлежит сомнению тот факт, что для количественного понимания и управления изменяющимися во времени явлениями в технологических системах необходимо связать наблюдаемое динамическое поведение с математическими моделями. Эти модели обычно зависят от ряда параметров, значения которых неизвестны или известны лишь приблизительно. Кроме того, часто можно измерить только часть динамики системы. Поэтому математическая модель неизбежно характеризуется параметрической или функциональной неопределенностью. Неопределенность модели также вполне ожидаема при идентификации очень сложных систем. Это связано не только с неопределенностью, возникающей в результате оценки параметров или функций, а касается также структуры и сложности модели, соответствующего выбора функции стоимости, которая обеспечивает базовую основу для оптимизации параметров управления [4, 5].

Отмеченные обстоятельства позволяют утверждать, что выбор стратегии управления технологическими процессами является актуальной задачей, решение которой может варьироваться от простых контуров обратной связи до сложных алгоритмов, включающих предиктивные модели и искусственный интеллект. Поэтому необходимость интенсификации дальнейших исследований в данном направлении послужило стимулом для выбора темы статьи.

Сложности управления технологическими процессами в промышленных системах, включая динамику

процесса, стратегии управления и различные задействованные компоненты освещают в своих трудах Дворецкий С.И., Акулинин Е.И., Шерстнев В.С., Яковис Л.М., Степанов П.С., Стронгин П.Я., Weifeng Xu, Chang Liu, Garima Malik, Piyush Sharma, Russel Kingshott, Tak Yan.

Особенности организации наблюдения за технологическим процессом и проведения мониторинга его качества в режиме онлайн с использованием контрольных карт изучают Утепбергенов И.Т., Сейдазимов С.Б., Бочкарев П.Ю., Митин С.Г., Назарьев А.В., Гумаров Г.С., Victoria Muerza, Emilio Larrodé, José María Moreno-Jiménez, Beatriz Royo.

Над разработкой многороботической системы управления сложными производственными процессами, которая имитирует основные операции, и проверкой ее устойчивости к различным неопределенностям, трудятся Каландаров П.И., Ядгарова Д.Б., Пряхин В.Н., Карапетян М.А., Мочунова Н.А., Kittisak Wongmahesak, Navaporn Wongsuwan, Bulent Akkaya, Maria Palazzo.

В тоже время несмотря на то, что сегодня разработаны и широко используются различные подходы к обработке неопределенности, которые различаются по целям, и могут включать гибкость, рентабельность и/или устойчивость процесса, ряд вопросов требует дополнительной проработки, особенно с учетом автоматизации и цифровизации производственных цепочек. Так, отдельного внимания заслуживает усовершенствование систематического подхода к решению задач оптимизации и управления технологическими процессами с учетом случайных ограничений. Кроме того, в уточнении нуждаются стратегии управления производственными системами на основе определения полуактивных и активных процессов.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении направлений оптимизации стратегии управления технологическими процессами в условиях неопределенности.

Исторически сложилось так, что управление технологическими процессами в непредвиденных, слабо прогнозируемых обстоятельствах было направлено, в первую очередь, на снижение затрат и повышение эффективности. Традиционные подходы к управлению часто опирались на реактивные меры, решая проблемы только после их проявления [6]. Такая реактивная позиция перестает быть достаточной перед лицом появляющихся каждый день технологических новинок, существенным образом усложняющих производственные процессы. Если не учитывать эти тенденции и сдвиги, то их игнорирование способно привести к значительным сбоям в работе, что подчеркивает необходимость разработки более проактивных и устойчивых стратегий управления. В данном контексте необходимо отметить, что не-

давние достижения в таких областях, как искусственный интеллект, машинное обучение, Интернет вещей и аналитика больших данных произвели революцию в возможностях управления и мониторинга технологическими процессами. Что касается автоматических контуров управления, то в данном случае нечеткая логика также стала мощным инструментом благодаря возможности обрабатывать сложные нелинейные процессы и неопределенность данных.

Чтобы рассмотреть возможности и перспективы приложения отмеченных выше технологий для оптимизации и повышения эффективности стратегий управления технологическими процессами, представляется целесообразным, прежде всего, формализовать причинно-следственную диаграмму влияния источников неопределенности на эти процессы (см. рис. 1).

На следующем этапе исследования рассмотрим более подробно математическую формализацию поставленной задачи.

Предположим, что технологический процесс является N -этапной нечеткой системой, которая может быть описана следующим нечетким уравнением:

$$X_{i+1} = \tilde{f}(X_i, u_i), i = 0, 1, \dots, N - 1$$

где « $\tilde{\cdot}$ » оператор нечеткости.

$$X_i = \{(x_i, m_i(x_i))\}, x_i \in X, u_i \in U$$

где X, U — области изменения состояния и управления соответственно;

$m_i(x_i)$ — функция принадлежности нечеткого множества X_i .

Допустим, что на контур управления u_i наложены нечеткие ограничения:

$$C_i = \{(u_i, \mu_i(u_i))\}$$

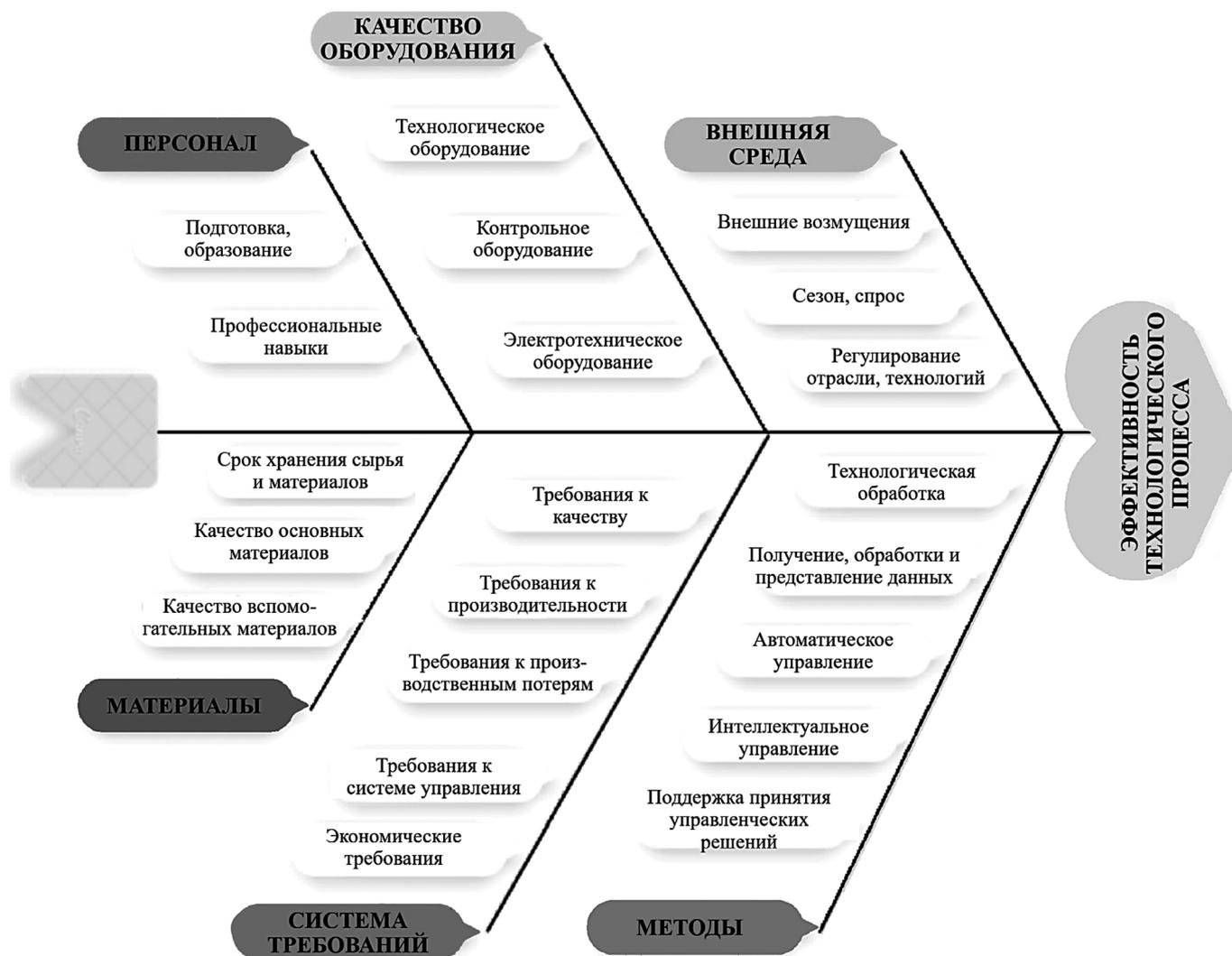


Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма влияния источников неопределенности на эффективность управления технологическими процессами

где $\mu_i(u_i)$ — функция принадлежности нечеткого множества C_i .

Пусть задано начальное состояние технологического процесса — X_0 . Необходимо найти последовательность четких управлений $u_i (i=0, \dots, N-1)$, которые будут удовлетворять нечетким ограничениям C_i , и последовательность нечетких состояний X_1, \dots, X_N для которых показатель качества G принимает максимальное значение.

Далее предлагаем привести данную задачу к формату многоэтапного принятия решений. Для определения прогнозируемого максимального значения G представляется целесообразным использовать экспертную оценку. В таком случае выразим цель в виде нечеткого множества G_N в X с функцией принадлежности $M_N(X_N)$. Руководствуясь принципом Беллмана-Заде решение поставленной задачи может быть записано в следующем виде:

$$D = C_0 \cap C_1 \cap \dots \cap C_{N-1} \cap G_N$$

Для соответствующих функций принадлежности имеем:

$$\begin{aligned} \mu_D(u_0, \dots, u_{N-1}) &= \\ &= \mu_0(u_0) \wedge \mu_1(u_1) \wedge \dots \wedge \mu_{N-1}(u_{N-1}) \wedge M_N(X_N) \end{aligned}$$

где \wedge — знак операции min.

Общая задача управления технологическими процессами в условиях неопределенности может быть сформулирована следующим образом:

$$\min E[f(x, u, \xi)] + wD[f(x, u, \xi)]$$

$$g(\dot{x}, x, u, \xi) = 0, x(t_0) = x_0$$

$$Pr\{h(\dot{x}, x, u, \xi) \geq 0\} \geq \alpha$$

$$u_{min} \leq u \leq u_{max}, t_0 \leq t \leq t_f$$

где f — объективная функция;

E и D — операторы ожидания и вариации, соответственно;

w — весовой коэффициент между двумя условиями;

x, u и ξ — векторы состояния, решений и случайных величин соответственно, g — ограничения равенства (т.е. уравнения модели).

Надежность или вероятность соблюдения ограничений неравенства задается $Pr\{h(\dot{x}, x, u, \xi) \geq 0\} \geq \alpha$. Величина $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ представляет собой уровень веро-

ятности. Поскольку α задается непосредственно пользователем, можно выбирать различные уровни и находить компромисс между значением объективной функции и риском нарушения ограничений [7]. Предлагаемый подход основан на формулировке выходных ограничений как ограничений вероятности, которые могут быть сформулированы в двух различных формах: ограничение единственной вероятности, где будут иметь место индивидуальные вероятности обеспечения каждого неравенства. В этой форме различным выходам могут быть присвоены различные уровни доверия в зависимости от их характеристик. Другая форма — совместное ограничение шансов, когда все неравенства включаются в вычисление вероятности, то есть они должны быть выполнены одновременно с единственным заданным уровнем доверия (вероятности).

Гауссовское предварительное распределение управляющего сигнала, обозначено как $p(u(k)|y_d(k+d), y(k))$, где $y_d(k+d)$ — желаемый выход системы, в свою очередь, апостериорное распределение вероятности управляющего сигнала $p(u(k)|y(k+d), y_d(k+d), y(k))$, по правилу Байеса будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} p(u(k)|y(k+d), y_d(k+d), y(k)) &= \\ \frac{p(y(k+d)|u(k), y(k))p(u(k)|y_d(k+d), y(k))}{p(y(k+d)|y(k))} \end{aligned}$$

Оптимальная стратегия управления $u^{opt}(k)$ определяется путем минимизации отрицательного логарифмического последствия относительно $u(k)$:

$$-\log p(u(k)|y(k+d), y_d(k+d), y(k)) \propto$$

$$\frac{1}{2} [y(k+d) - \bar{f}(y(k), u(k))]^2$$

$$R^{-1} [y(k+d) - \bar{f}(y(k), u(k))]^2$$

$$+ \frac{1}{2} [u(k) - \hat{u}(k)]^T \hat{P}^{-1} [u(k) - \hat{u}(k)]$$

$$- \frac{1}{2} [y(k+d) - \hat{y}(k+d)]^T Q^{-1} [y(k+d) - \hat{y}(k+d)]$$

где \hat{P}^{-1} — ковариационная матрица предшествующего распределения управляющих сигналов;

$\hat{u}(k)$ — среднее значение предшествующего распределения, равное оценочному значению управляющего сигнала;

$\hat{y}(k+d)$ — наилучшее предсказание выхода системы с учетом оценки управляющего сигнала;

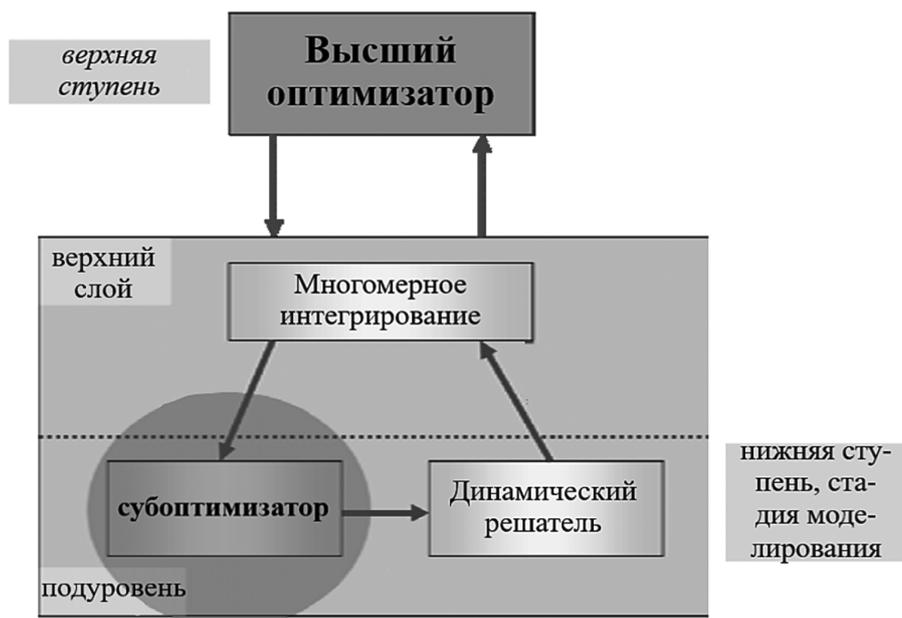


Рис. 2. Система оптимизации с ограничением шансов

Q^{-1} — ковариационная матрица доказательств, $p(u(k+d)|y(k+d)|y(k))$.

Отдельный акцент необходимо сделать на том, что на практике достаточно часто встречаются задачи стохастической оптимизации, в которых не может быть обеспечена монотонная связь между ограниченным выходом и любой неопределенной входной переменной. Это особенно актуально для тех технологических систем, где переменные решения сильно критичны к вопросу о том, существует ли монотонность или нет [8]. В данном случае целесообразно использовать новый эффективный подход к программированию с ограничениями на случайность для оптимизации и управления процессами в условиях неопределенности без гарантии монотонной связи между ограниченным выходом и неопределенным входом.

Этот подход использует двухэтапную схему вычислений для декомпозиции задачи (см. рис. 2).

Верхний этап представляет собой высший оптимизатор, следующий последовательной стратегии, который генерирует значения переменных стратегического решения и передает их на нижний этап (этап моделиро-

вания). На этом этапе значения объективной функции, детерминированных и вероятностных ограничений, а также градиенты возвращаются к вышестоящему оптимизатору. Кроме того, внутри слоя моделирования существует двухслойная структура для вычисления случайных ограничений. Один из них — вышестоящий слой, где вероятности и их градиенты вычисляются путем многомерного интегрирования. Структура нижнего слоя является ключом к вычислению ограничений шанса с немонотонной зависимостью [9].

Таким образом, резюмируя полученные результаты, отметим, что современные производства и технологические процессы, их состояния зависят от многих факторов, прямо или косвенно оказывающих на них влияние, что создает условия неопределенности в окружающей среде. Соответственно задача контроля за этими процессами существенно усложняется, что обуславливает необходимость применения интеллектуальных алгоритмов и методов в контуре управления. В статье описан подход к оптимизации стратегия управления, основанный на нечеткой логике, который позволяет объединить разные цели управления технологическими процессами, и обеспечить их реалистичность и устойчивость по отношению к входным и выходным ограничениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джамбеков А.М. Управление непрерывными технологическими процессами в условиях неопределенности // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2022. № 3 (17). С. 84–93
2. Weifeng Xu, Chang Liu External environment uncertainty, key resources acquisition, and corporate technological innovation // Managerial and Decision Economics. 2025. Volume 45, Issue 1. P. 34–41.
3. Shulei Zhang, Runda Jia A chance-constrained tube-based model predictive control for tracking linear systems using data-driven uncertainty sets // International Journal of Robust and Nonlinear Control. 2023. Volume 34, Issue 2. P. 98–108.
4. Дворецкий С.И. Постановки задач оптимизации при интегрированном проектировании технологических процессов, аппаратов и систем управления в условиях неопределенности // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2024. Т. 30. № 2. С. 184–195.
5. Тырышкин С.Ю. Параллельное компактное моделирование квантовых схем // Современные наукоемкие технологии. — 2025. — №1. — С. 185–191.
6. Chuiliu Kong, Ying Wang Adaptive tracking control under quantized observations and observation uncertainty with unbounded variance // Asian Journal of Control. 2023. Volume 26, Issue 2. P. 12–19.
7. Шерстнев В.С. Повышение качества регулирования систем управления при нечеткой исходной информации // Вестник университета Шакарима. Серия технические науки. 2024. № 1 (13). С. 5–10.
8. Яковис Л.М., Степанов П.С., Стронгин П.Я. Декомпозиция задачи робастной настройки типовых регуляторов при управлении многомерными динамическими объектами в условиях интервальной неопределенности // Математические методы в технологиях и технике. 2024. № 8. С. 17–22.
9. Fei Li, Chao Wu Tube-based stochastic model predictive control leveraging Gaussian process regression for linear systems with bounded additive uncertainties // Asian Journal of Control. 2025. № 56. P. 107–110.

© Тырышкин Сергей Юрьевич (service.vip-spe@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ИГР И БЯМ-АНАЛИЗА КОНТЕНТА В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ПО НЭШУ И КЛЮЧЕВЫХ ИГРОКОВ В УСЛОВИЯХ МАССОВЫХ БЕСПОРЯДКОВ

APPLICATION OF GAME THEORY AND LLM-BASED CONTENT ANALYSIS IN SOCIAL NETWORKS TO IDENTIFY NASH EQUILIBRIUM AND KEY PLAYERS UNDER MASS RIOTS

Urtnasan Batnasan

Summary. This article proposes a methodology that combines game theory and automated content analysis to identify Nash equilibrium and «key» players during mass riots. Using the example of the protests in Mongolia, the calculation of utility functions is based on classifying comments (P, S, N), thereby supporting managerial decision-making in crisis situations.

Keywords: game theory, mass riots, social networks, LLM (large language model), content analysis, Nash equilibrium.

Уртнасан Батнасан

*Адъюнкт, Академия управления МВД России, г. Москва
batnasan.u@mail.ru*

Аннотация. В статье предложена методология, сочетающая теорию игр и автоматизированный анализ контента для выявления равновесия по Нэшу и «ключевых» игроков при массовых беспорядках. На примере протестов в Монголии проведён расчёт функций полезности, основанный на классификации комментариев (P, S, N), что помогает принимать управленческие решения в кризисных ситуациях.

Ключевые слова: теория игр, массовые беспорядки, социальные сети, БЯМ (большая языковая модель), контент-анализ, равновесие по Нэшу.

Введение

В современных условиях массовые беспорядки всё чаще сопровождаются активным использованием социальных сетей в качестве пространства для координации протестных действий, формирования общественных настроений и влияния на ход событий. В условиях высокой скорости информационного обмена, мультиагентного характера взаимодействия участников существенно возрастает значение системных и количественных подходов к анализу стратегического поведения акторов, действующих в онлайн-среде.

Примером, ярко иллюстрирующим эти тенденции, являются события произошедшие в Монголии в декабре 2022 года. Тогда общественность была взбуждена масштабной коррупцией в угольном секторе около 385000 тонн угля, предназначенных для экспорта в Китай, были похищены. Это спровоцировало массовые протесты в Улан-Баторе, преимущественно среди молодёжи, требовавшей прозрачности, в деятельности правительства, реформ в угольной отрасли. Деятельность протестующих, официальных структур, средство массовых информации, негативно настроенных пользователей в социальный сетей сформировала сложный ин-

формационный ландшафт, в котором распространение эмоционально заряженного контента тесно переплеталось с дискурсом о коррупции, ответственном управлении и экономической стабильности.

В таких условиях перед органами правительстве возникает вопрос: как формализовать многостороннее стратегическое взаимодействие в динамичных онлайн-средах и количественно оценить влияние информационного контента на выбор стратегий различных групп? Для решения подобных задач целесообразно использовать синтез теоретико-игрового моделирования и автоматизированного анализа данных о контенте. Теория игр предоставляет математический аппарат для поиска равновесных сценариев (равновесий по Нэшу), устойчивых к односторонним отклонениям участников. В то же время современные большие языковые модели (БЯМ), такие как Mistral 7B, способны эффективно классифицировать комментарии, выявляя провокационный (P), поддерживающий (S) и нейтральный (N) контент, а также оценивать эмоциональную окраску (позитивную, негативную) сообщений. Эта интеграция позволяет формировать функции полезности акторов, опирающиеся на реальные данные о настроениях и реакциях аудитории.

Цель данной статьи — показать методы, сочетающие теорию игр и БЯМ-анализ контента, применяемую к данным из социальных сетей в условиях массовых беспорядков, с последующим выявлением равновесия по Нэшу и определением «ключевых» игроков, чьи стратегические сдвиги оказывают наибольшее влияние на систему. Научная новизна работы заключается в интеграции двух подходов: теории игр и автоматизированной классификации контента, что позволяет перейти от абстрактных моделей к более точным инструментам прогнозирования стратегий участников.

Практическая значимость статьи состоит в возможности поддержки принятия управленческих решений при массовых беспорядках. Понимание равновесных стратегий, сформированных на основе реальных данных (применительно к случаю протестов в Монголии), и выявление ключевых акторов помогают целенаправленно воздействовать на информационное поле, стабилизируя ситуацию и минимизируя эскалацию конфликта.

В статье рассмотрена модель, включающая пять групп игроков (правительство, официальные СМИ, авторы негативные страницы, политические деятели, блогеры /инфлюенсеры/) и две стратегии для каждой группы. Классификация текстовых данных, собранных из социальных сетей, проводилась при помощи БЯМ Mistral 7B, а результаты интегрировались в теоретико-игровую постановку для расчёта полезностей игроков. Далее из множества возможных стратегических профилей выделялось равновесие по Нэшу, анализировалась чувствительность равновесия к изменениям стратегий и определялись ключевые игроки.

Обзор литературы

Взаимодействие участников в информационном пространстве социальных сетей при массовых беспорядках является предметом интереса в ряде исследований, посвящённых теории игр, анализу данных и автоматической обработке текстов. Теоретико-игровой подход широко применялся для моделирования стратегий в сетевых системах, начиная с классических работ по анализу кооперативных и некооперативных взаимодействий [1; 2]. В контексте информационного противостояния и дезинформации теория игр использовалась для исследования стратегий агентов, распространяющих фейковые новости и пропаганду [3; 4].

Важным направлением является развитие моделей, ориентированных на выявление «ключевых» игроков и оценку влияния в социальных сетях. Так, в работах Торопова предлагается использовать теоретико-игровую центральность вершин на основе вектора Шепли, что даёт возможность учесть маргинальный вклад каждого узла в формировании коалиций [5]. Подход

«экшн-модели» (actional model), предложенный Губановым и Чхартишвили, позволяет формализовать влияние пользователей, исходя из их конкретных действий и целей внешнего «агента-руководителя» [6; 7]. В дальнейшем авторы расширили модель за счёт анализа метапользователей, объединивших несколько аккаунтов или групп, для оценки совокупного влияния [7]. В монографии Чхартишвили, Губанова и Новикова рассмотрены механизмы информационного контроля и противостояния в социальных сетях, опирающиеся на теоретико-игровые принципы и модели множественных акторов [8].

Особую актуальность приобрёл вопрос о том, как формализовать влияние контента в социальных сетях на решения акторов. Здесь на помощь приходят методы обработки естественного языка (NLP) и большие языковые модели (БЯМ). Применение БЯМ для sentiment-анализа и классификации содержания сообщений доказало свою эффективность в работах, посвящённых автоматической модерации и обнаружению токсичности в онлайн-дискуссиях [9; 10]. В последние годы большие языковые модели, такие как BERT, GPT-3, BLOOM, Mistral и др., активно интегрируются в социально-политические исследования для анализа настроений публики и определения типа комментариев [11; 12].

Применительно к условиям массовым беспорядкам, в которых социальные сети становятся ареной конкурирующих нарративов, существует потребность объединения теоретико-игрового моделирования с автоматической оценкой качественных характеристик контента. Предыдущие исследования показали, что учет эмоциональной окраски и типа комментариев (провокационные, поддерживающие, нейтральные) повышает точность прогнозов о поведении аудитории и устойчивости информационных стратегий [13; 14]. Влияние негативных и провокационных сообщений на эскалацию конфликтов в сетях, а также роль «ключевых» акторов, распространяющих подобный контент, анализировалось в контексте обнаружения сетевых лидеров, посредников и «воспламеняющих» узлов [15; 16]).

Однако в большинстве упомянутых работ теоретико-игровые методы и NLP-подходы рассматривались относительно независимо: либо анализировались стратегии агентов с заданными абстрактными полезностями, либо оценивался контент без строгой стратегической интерпретации. Объединение теории игр с БЯМ-анализом контента представляет собой перспективное направление, позволяющее связать результаты sentiment-анализа и классификации комментариев с формализацией функций полезности акторов, что может привести к более точному определению равновесных стратегий и выявлению ключевых игроков [17].

Таким образом, анализ литературы показывает, что в современной научной среде существует методологи-

ческая основа как для применения теории игр к социальным сетям, так и для использования БЯМ для аналитики контента. Но комплексный подход, объединяющий эти два направления для изучения массовых беспорядков и информационных стратегий, требует дальнейших разработок. Данное исследование отвечает на этот вызов, интегрируя теоретико-игровую постановку с автоматизированной классификацией комментариев и сентимент-анализа для выявления равновесия по Нэшу и определению ключевых акторов в условиях кризисных онлайн-ситуаций.

Модель и методология

В данной статье рассматривается упрощённая теоретико-игровая модель стратегического взаимодействия между пятью группами акторов, действующими в условиях массовых беспорядков и связанных посредством социальных сетей:

1. Правительственные организации (*Government, G*): их основная задача — поддержание порядка и снижение деструктивного эмоционального фона.
2. Официальные СМИ (*Media, M*): стремятся к максимизации охвата и формированию позитивной или, по крайней мере, нейтральной информационной повестки.
3. Негативные страницы (*Negative, Neg*): провокаторы, распространяющие деструктивную, провокационную информацию с целью усилить хаос.
4. Политические акторы (*Politics, Pol*): заинтересованы в мобилизации сторонников и укреплении политического влияния.
5. Инфлюенсеры (*Influencers, Inf*): фокусируются на повышении вовлечённости аудитории, стремятся укрепить свою узнаваемость и позицию в медиaprостранстве.

Каждый актор имеет две стратегии. Например:

- *G*: *G1* — умеренная, стабильная подача информации; *G2* — жёсткая риторика и усиление контроля.
- *M*: *M1* — нейтральная, сбалансированная подача; *M2* — более позитивный уклон, смягчение конфликта.
- *Neg*: *Neg1* — провокационный шок-контент; *Neg2* — сенсационная, но менее агрессивная подача.
- *Pol*: *Pol1* — конструктивный, мобилизующий тон; *Pol2* — политизация с меньшей поддержкой.
- *Inf*: *Inf1* — провокация для вовлечения; *Inf2* — попытка поддержать вовлечённость с меньшим накалом.

Таким образом, всего имеется $2^2 = 32$ возможных комбинаций стратегий. Чтобы оценить полезности каждого игрока, необходимо количественно связать их цели

с метриками активности аудитории (комментарии, реакции), а также с качественными характеристиками контента (позитив, негатив, провокации, поддержка).

Определение метрик и применение БЯМ:

Для вычисления функций полезности необходимы данные о реакции аудитории. Предположим, что изначально собран набор сообщений, реакций (*like, love, angry, sad*) и комментариев, поступивших в социальных сетях. Комментарии, по своему содержанию, разделяются на три типа:

- *P* (*провокационные*): подогревают конфликт, стимулируют негативные эмоции.
- *S* (*поддерживающие*): укрепляют позитивный настрой, лояльность к конкретному актору.
- *N* (*нейтральные*): отражают интерес, но без выраженных позитивных или негативных эмоций.

Аналогично, реакции пользователей классифицируются на позитивные (например, *like, love*), негативные (*angry, sad*) и оценивается общее число вовлечённости (*total reactions, total comments*).

Для определения типа комментариев и проведения сентимент-анализа используется крупная языковая модель БЯМ Mistral 7B. Модель автоматически классифицирует контент сообщений на *P, S, N* и оценивает общую эмоциональную окраску (*Pos, Neg*).

Используемый промт для классификации комментариев был следующим:

Отнесите следующий комментарий к одной из трех категорий: нейтральный (N), поддерживающий (S), провокационный (P).

Комментарий: «{comment}»

Категории:

1. *Нейтральный*: Комментарий не выражает какого-либо сильного положительного или отрицательного мнения.
2. *Поддерживающий*: Комментарий выражает положительное или поддерживающее мнение.
3. *Провокационный*: Комментарий выражает отрицательное или провокационное мнение.

Укажите категорию классификации: «»»

Полученные таким образом агрегированные статистики по каждой группе акторов при каждой комбинации стратегий позволяют вычислить полезности.

Функции полезности:

Полезности каждого игрока отражает его интересы:

Таблица 1.

Комбинация (00000) G1,M1,Neg1,Pol1,Inf1							
Игрок	Комменты			Всего	Реакция		Всего
	N	P	S		Pos	Neg	
Government(G1)	66	37	51	154	217	87	304
Media(M1)	257	143	194	594	2895	965	3860
Negative(Neg1)	321	173	281	775	3186	4063	7249
Politics(Pol1)	158	66	132	356	731	269	1000
Influencers(Inf1)	479	238	423	1140	1379	648	2027
Комбинация 01001 (M2+Inf2)							
Игрок	Комменты			Всего	Реакция		Всего
	N	P	S		Pos	Neg	
Government	66	37	51	154	221	83	304
Media(M2)	257	143	214	624	3474	869	4053
Negative	321	173	281	775	3249	3860	7110
Politics	158	66	132	356	746	256	1000
Influencers(Inf2)	407	202	360	798	1241	518	1420
Комбинация 11111 (G2+M2+Neg2+Pol2+Inf2)							
Игрок	Комменты			Всего	Реакция		Всего
	N	P	S		Pos	Neg	
Government(G2)	66	37	41	146	174	96	289
Media(M2)	257	143	214	624	3474	869	4053
Negative(Neg2)	321	173	281	698	3345	3250	6524
Politics(Pol2)	174	66	112	338	658	242	950
Influencers(Inf2)	407	202	360	798	1241	518	1420

Government (G):

Стремится снизить негатив, увеличить долю позитивных реакций. Полезности может быть задан как:

$$U_G = \frac{Pos}{Tot} - \frac{Neg}{Tot} - \frac{P}{Comm + 1}$$

Это учитывает соотношение позитивных и негативных сигналов и эффект провокаций (P).

Media (M):

Ориентируются на охват, позитив и уменьшение негатива:

$$U_M = \frac{Pos}{Tot} - \frac{Neg}{Tot} + \frac{Comm}{Tot}$$

Negative (Neg):

Цель — максимизация негативных эмоций и провокаций:

$$U_{Neg} = \frac{Neg}{Tot} + \frac{P}{Comm + 1}$$

Politics (Pol):

Стремятся к увеличению поддерживающих (S) и позитивных реакций, снижению негатива:

$$U_{Pol} = \frac{S}{Tot} + \frac{Pos}{Tot} - \frac{Neg}{Tot}$$

Influencers (Inf):

Максимизируют общую вовлечённость (комментарии и все реакции):

$$U_{Inf} = \frac{Comm}{Tot} + \frac{Pos + Neg}{Tot}$$

Здесь Tot — общее число реакций, Comm — число комментариев, Pos и Neg — количество позитивных и негативных реакций, P и S — число провокационных и поддерживающих сигналов, определённых БЯМ.

Пример вычисления полезностей для 01001 комбинации:

U_G:

$$U_G = \frac{221}{304} - \frac{83}{304} - \frac{37}{155} = 0.7263 - 0.2724 - 0.2387 = 0.2152$$

U_M (M2):

$$U_M = \frac{3474}{4053} - \frac{869}{4053} + \frac{624}{4053} = 0.857 - 0.2145 + 0.154 = 0.7965$$

U_{Neg}:

$$U_{Neg} = \frac{3860}{7110} + \frac{173}{776} = 0.542 + 0.223 = 0.765$$

U_{Pol}:

$$U_{Pol} = \frac{132}{1000} + \frac{746}{1000} - \frac{256}{1000} = 0.132 - 0.746 - 0.256 = 0.622$$

U_{Inf} (Inf2):

$$U_{Inf} = \frac{798}{1420} + \frac{1241 + 518}{1420} = 0.562 + 1.239 = 1.801$$

Итого (01001): U_G = 0.2152, U_M = 0.7965, U_{Neg} = 0.765, U_{Pol} = 0.622, U_{Inf} = 1.801.

Процедуры определения равновесия по Нэшу и ключевых игроков:

- Рассчитать полезности для всех 32 комбинаций стратегий, подставляя значения *Pos*, *Neg*, *Comm*, *P*, *S*, *N* (классифицированные БЯМ и скорректированные под стратегии).
- Для каждого профиля проверить, заинтересован ли какой-либо игрок изменить свою стратегию односторонне. Если да профиль не является равновесием.
- Найти комбинацию, при которой ни один актер не хочет менять стратегию это и есть равновесие по Нэшу.
- Чтобы определить ключевых игроков, проанализировать чувствительность равновесия к изменению стратегии одного актера и оценить, как сильно это изменение влияет на полезности остальных. Если влияние существенно, актер считается ключевым.

Таким образом, метод состоит из нескольких этапов:

1. Классификация комментариев и сентимент-анализ с помощью БЯМ Mistral 7B.
2. Определение функций полезности на основе полученных метрик.
3. Моделирование 32 стратегических профилей актеров и расчет полезностей.
4. Анализ односторонних отклонений для выявления равновесия по Нэшу.
5. Проверка чувствительности равновесия и определение ключевых игроков.

Данный комплексный подход обеспечивает формализованную основу для поддержки управленческих решений в условиях массовых беспорядков, предоставляя возможность прогнозировать устойчивые паттерны поведения в соцсетях и выявлять наиболее влиятельных акторов информационного поля.

Результаты вычислений

В процессе исследования для всех $2^5 = 32$ комбинаций стратегий пяти групп игроков (*Government*, *Media*, *Negative*, *Politics*, *Influencers*) были вычислены показатели полезности. Исходные метрики вовлеченности, эмоциональной окраски (*Pos*, *Neg*), типов комментариев (*P* — провокационные, *S* — поддерживающие, *N* — нейтральные) были получены с использованием МОСИИТ база данных, скорректированных под эффект стратегий, и классифицированы посредством БЯМ Mistral 7B. Это позволило количественно оценить влияние каждой комбинации стратегий на выигрыш каждого актера.

По результатам вычислений (см. табл. 2).

Таблица 2.

Итоговые значения полезности для всех комбинаций стратегий

	Код (G,M,Neg,Pol,Inf)	U_G	U_M	U_{Neg}	U_{Pol}	U_{Inf}
1	00000	0.1896	0.654	0.783	0.594	1.562
2	00001	0.2073	0.67	0.773	0.609	1.801
3	00010	0.2152	0.6795	0.765	0.5558	1.563
4	00011	0.2349	0.6938	0.756	0.5558	1.801
5	00100	0.2009	0.664	0.7455	0.603	1.564
6	00101	0.2147	0.6787	0.7455	0.618	1.801
7	00110	0.227	0.6896	0.7455	0.5558	1.565
8	00111	0.2416	0.7031	0.7455	0.5558	1.801
9	01000	0.2023	0.7965	0.776	0.607	1.562
10	01001	0.2152	0.7965	0.765	0.622	1.801
11	01010	0.2278	0.7965	0.759	0.5558	1.563
12	01011	0.2433	0.7965	0.748	0.5558	1.801
13	01100	0.2147	0.7965	0.7455	0.616	1.564
14	01101	0.227	0.7965	0.7455	0.631	1.801
15	01110	0.2416	0.7965	0.7455	0.5558	1.565
16	01111	0.2547	0.7965	0.7455	0.5558	1.801
17	10000	0.0182	0.654	0.757	0.594	1.581
18	10001	0.0182	0.67	0.747	0.609	1.801
19	10010	0.0182	0.6796	0.74	0.5558	1.581
20	10011	0.0182	0.6934	0.73	0.5558	1.801
21	10100	0.0182	0.664	0.7455	0.602	1.583
22	10101	0.2147	0.6787	0.7455	0.618	1.801
23	10110	0.227	0.6896	0.7455	0.5558	1.565
24	10111	0.2351	0.7082	0.7455	0.5558	1.801
25	11000	0.0182	0.7965	0.783	0.606	1.58
26	11001	0.0182	0.7965	0.783	0.622	1.801
27	11010	0.0182	0.7965	0.783	0.5558	1.58
28	11011	≈0.2417	0.7082	≈0.73	0.5558	1.801
29	11100	0.0182	0.7965	0.7455	0.603	1.583
30	11101	0.2147	0.6787	0.7455	0.618	1.801
31	11110	0.2286	0.7965	0.7455	0.5558	1.565
32	11111	0.0182	0.7965	0.7455	0.5558	1.801

Общий характер полезностей:

- Правительственные организации (G) при переходе к более жёсткой стратегии (G2) практически всегда снижали свою полезность по сравнению с мягкой (G1).
- Официальные СМИ (M) стабильно выигрывали при переходе к более позитивной подаче (M2) по сравнению с нейтральной (M1).
- Негативные страницы (Neg), ориентированные на негатив и провокации, в большинстве случаев получали максимальные полезности, оставаясь на провокационной, но агрессивной стратегии (Neg1), нежели смягчаясь до Neg2.
- Политические акторы (Pol) предпочитали конструктивно-мобилизующий тон (Pol1) вместо более компромиссного варианта (Pol2), поскольку изменение в Pol2 обычно снижало их итоговую полезность.
- Инфлюенсеры (Inf) получали наибольший выигрыш при выборе стратегии Inf2 (повышение вовлечённости без максимальной провокации), нежели оставаться на более грубом варианте Inf1.

Выявление равновесия по Нэшу:

Проверка всех 32 комбинаций на предмет того, может ли один из акторов увеличить свой полезности односторонним изменением стратегии, показала, что лишь для одного профиля стратегий отсутствует стимул к одностороннему отклонению со стороны любого игрока. Таким равновесием по Нэшу оказалась комбинация:

- Government: G1
- Media: M2
- Negative: Neg1
- Politics: Pol1
- Influencers: Inf2

В двоичном представлении это профиль (01001). В этом состоянии:

- G достигает оптимального баланса позитив/негатив при умеренной подаче.

- M максимизирует охват при позитивной стратегии (M2).
- Neg сохраняет провокационный контент, не снижая агрессии (Neg1).
- Pol придерживается конструктивного, мобилизующего тона (Pol1).
- Inf формирует высокую вовлечённость без чрезмерной провокации (Inf2).

Ни одному игроку не выгодно единолично изменить стратегию, поскольку любая такая смена ухудшает его полезность.

Ниже приведён пример анализа односторонних отклонений от равновесного профиля (01001) — (G1,M2,Neg1,Pol1,Inf2). Исходные полезности в равновесии:

$$U_G = 0.2152, U_M = 0.7965, U_{Neg} = 0.765, U_{Pol} = 0.622, U_{Inf} = 1.801$$

Из таблицы 3 видно, что при попытке любого из акторов в одиночку сменить стратегию его полезности снижается. Это подтверждает, что профиль (01001) является равновесным по Нэшу, поскольку ни один игрок не улучшает свой выигрыш при одностороннем отклонении.

Определение ключевых игроков

После выявления равновесия была оценена чувствительность этого состояния к односторонним изменениям стратегий. Анализ показал, что изменение стратегии со стороны негативных страниц (Neg) оказывает наиболее заметное влияние на полезность некоторых других акторов, в частности СМИ. Переход Neg с Neg1 к Neg2 приводил к существенному снижению выигрышности M, тогда как другие изменения стратегий других групп не вызывали столь резких колебаний в полезностях третьих лиц. Таким образом, «Негативные страницы» проявили себя как более «ключевой» актор, изменение которого способно заметно трансформировать распределение выигрышей в информационной среде.

Таблица 3.

Таблица примера односторонних отклонений

Игроки	Текущая стратегия	Новая стратегия	Новый профиль (бинарный код)	Полезности акт. после изменения	Улучшение?
G: G1→G2	G1 (0)	G2 (1)	(11001)	$U_G = 0.0182 < 0.2152$	Нет (хуже)
M: M2→M1	M2 (1)	M1 (0)	(00001)	$U_M = 0.67 < 0.7965$	Нет (хуже)
Neg: Neg1→Neg2	Neg1 (0)	Neg2 (1)	(01101)	$U_{Neg} = 0.7455 < 0.765$	Нет (хуже)
Pol: Pol1→Pol2	Pol1 (0)	Pol2 (1)	(01011)	$U_{Pol} = 0.5558 < 0.622$	Нет (хуже)
Inf: Inf2→Inf1	Inf2 (1)	Inf1 (0)	(01000)	$U_{Inf} = 1.562 < 1.801$	Нет (хуже)

Ниже приведён пример сравнения полезностей при переходе негативных страниц (*Neg*) со стратегии *Neg1* к *Neg2* в равновесии (01001). Исходно (01001) соответствует (*G1, M2, Neg1, Pol1, Inf2*) с полезностями:

$$U_G = 0.2152, U_M = 0.7965, U_{Neg} = 0.765, U_{Pol} = 0.622, U_{Inf} = 1.801$$

При изменении *Neg1*→*Neg2* профиль становится (01101) = (*G1, M2, Neg2, Pol1, Inf2*), и полезности меняются:

Таблица 4.

Сравнение полезностей акторов при изменении стратегии *Neg* с *Neg1* на *Neg2* в равновесии (01001)

Актор	Полезности при (01001)	Полезности при (01101)	Изменение
<i>G</i>	0.2152	0.227	+0.0118 (небольшое увеличение)
<i>M</i>	0.7965	0.6787	-0.1178 (существенное снижение)
<i>Neg</i>	0.765	0.7455	-0.0195 (умеренное снижение)
<i>Pol</i>	0.622	0.631	+0.009 (небольшое увеличение)
<i>Inf</i>	1.801	1.801	0 (без изменений)

Обсуждение результатов и управленческие рекомендации

Выявленное равновесие по Нэшу, соответствующее профилю (*G1, M2, Neg1, Pol1, Inf2*), показывает, что в условиях массовых беспорядков и информационного давления оптимальные стратегии акторов можно описать через умеренность правительства, позитивизацию сообщений официальных СМИ, сохранение провокационной активности негативных страниц, конструктивный политический тон и стремление инфлюенсеров к повышению вовлечённости без чрезмерного нагнетания. Данный результат указывает, что смоделированных на основе категорий комментариев (*P, S, N*) с помощью БЯМ Mistral 7B, существуют предсказуемые, устойчивые структуры взаимодействий.

Интересно отметить, что изменять свою стратегию при равновесии по Нэшу невыгодно никому. Это означает, что обнаруженный профиль стратегий стабильное состояние, к которому информационная система может склониться при отсутствии внешнего воздействия. С управленческой точки зрения данное равновесие важно: если целью являются снижение напряжённости или контроль информационного поля, то необходимо понимать, какие стратегические ходы не изменят устойчивого положения. Например, попытка правительства перейти к более жёсткой риторике (*G2*) или СМИ вернуться

к нейтральности (*M1*) не приведёт к кардинальным выгодам для этих акторов.

Особый интерес представляет анализ чувствительности равновесия. Наибольший эффект на распределение выигрышей вызывает изменение стратегии со стороны негативных страниц (*Neg*). Это значит, что при прочих равных условиях именно *Neg* обладает признаками «ключевого» игрока: изменение их поведения способно сместить баланс интересов и полезностей других групп, особенно СМИ. С управленческой точки зрения данное знание означает, что именно негативные игроки информационного поля представляют собой уязвимую точку или, напротив, решающий рычаг в информационном противостоянии. Контролируя, нейтрализуя или переориентируя негативных акторов, можно повлиять на весь баланс, сместив систему из равновесного состояния в более желательное для управленцев положение.

Использование БЯМ для классификации комментариев и сентимент-анализа позволило формализовать сложные информационные сигналы и включить их в математическую модель. Это придаёт анализу дополнительную практическую ценность: применяя более точные и мощные модели, можно оперативно оценивать текущее состояние сетевой дискуссии, определять типы комментариев и уровень негативных реакций. На основе этого можно пересматривать стратегии собственных информационных кампаний или точно воздействовать на ключевых игроков, ограничивая негативный или провокационный контент, либо стимулируя позитивные сигналы.

С точки зрения управленческих решений, данный подход предоставляет следующие рекомендации:

- Идентификация ключевых игроков: Управленцы, зная, что негативные страницы наиболее критичны для равновесия, могут приоритизировать мониторинг и противодействие именно им.
- Стратегический контроль информационного поля: Понимание равновесных стратегий помогает предвидеть, что даже при попытках изменения поведения отдельных акторов без комплексного вмешательства равновесие сложно сместить. Значит для существенного воздействия нужна целенаправленная работа с «ключевыми» элементами системы.
- Гибкая реакция на изменения: Если негативный актер меняет стратегию, реакции СМИ или правительства могут быть скорректированы заранее, опираясь на расчёт возможных полезностей. Это снижает фактор неожиданности и повышает устойчивость управленческих решений.

Таким образом, обсуждённые результаты указывают на то, что предложенная модель и методология могут

стать инструментом для понимания устойчивых паттернов поведения в социальных сетях при массовых беспорядках, а также для разработки точечных и эффективных управленческих мероприятий по стабилизации информационного пространства.

Заключение

В данной работе была предложена и апробирована комплексная методология, сочетающая теоретико-игровое моделирование и автоматизированный анализ контента с помощью большой языковой модели БЯМ (Mistral 7B), для изучения стратегических взаимодействий ключевых акторов в условиях массовых беспорядков. Через формализацию стратегий и вычисление полезностей, зависящих от типа комментариев (P , S , N) и эмоциональной окраски (Pos , Neg), удалось определить равновесный профиль стратегий по Нэшу и выявить «ключевых» игроков.

Основным результатом стало выявление уникального равновесия по Нэшу, при котором правительство остаётся умеренным ($G1$), СМИ выбирают позитивную подачу ($M2$), негативные страницы придерживаются провокационного контента ($Neg1$), политики действуют конструктивно ($Pol1$), а инфлюенсеры стремятся к максимизации вовлечённости при меньшем накале ($Inf2$). При таком сочетании стратегий ни один из игроков не имеет стимула к одностороннему изменению своей стратегии, что указывает на устойчивый характер данного «сценария» информационного взаимодействия.

Дополнительный анализ чувствительности показал, что именно негативные акторы (Neg) обладают наиболее сильным влиянием на распределение итоговых полезностей остальных участников. Их переход к альтернативной стратегии способен существенно повлиять на выигрыш, например, официальных СМИ, что позволяет классифицировать негативных акторов как ключевых.

Практическая ценность исследования заключается в том, что предложенный подход может быть использован для поддержки управленческих решений во время кризисных ситуаций и массовых беспорядков. Понимание равновесных стратегий позволяет предвидеть устойчивые конфигурации информационного взаимодействия, а знание ключевых игроков нацелить меры на наиболее критичные точки влияния. Интеграция теории игр и БЯМ-анализа контента даёт инструмент для оперативного мониторинга и моделирования онлайн-пространства, позволяя вырабатывать проактивные, научно обоснованные меры по стабилизации ситуации.

Перспективы дальнейших исследований связаны с применением других исходных данных, расширением набора стратегий, уточнением функций полезностей, применением более мощных БЯМ-моделей и добавлением динамических аспектов в модель. Это позволит повысить точность прогнозов и практическую применимость разработанных методов в реальных сценариях массовых беспорядков и иных кризисных ситуациях в информационном поле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Myerson R.B. *Game Theory: Analysis of Conflict*. — Cambridge (MA): Harvard University Press, 1991. — 568 p.
2. Osborne M.J., Rubinstein A. *A Course in Game Theory*. — Cambridge (MA): MIT Press, 1994. — 352 p.
3. Basu A., Dickinson T., Xu H. Modeling the spread of fake news in social networks using game-theoretic frameworks // *Proceedings of the AAAI Workshop on Fake News*. — 2018.
4. Chen W., Hua Y., Shi J. A Fake News Game Theory Model of Two-Sided Markets // *IEEE Transactions on Computational Social Systems*. — 2020. — Vol. 7, no. 2. — P. 451–462.
5. Торопов Б.А. Теоретико-игровая центральность вершин в графах на основе вектора Шепли // *Программные системы и вычислительные методы*. — 2017. — № 2. — С. 45–54.
6. Губанов Д.А., Чхартишвили А.Г. An actional model of user influence levels in a social network // *Automation and Remote Control*. — 2015. — Vol. 76, no. 7. — P. 1282–1290.
7. Губанов Д.А., Чхартишвили А.Г. Influence levels of users and meta-users of a social network // *Automation and Remote Control*. — 2018. — Vol. 79, no. 3. — P. 545–553.
8. Чхартишвили А.Г., Губанов Д.А., Новиков Д.А. *Social Networks: Models of Information Influence, Control and Confrontation*. — Cham: Springer, 2019. — 247 p.
9. Zampieri M., Malmasi S., Nakov P., Rosenthal S., Farra N., Kumar R. SemEval-2019 Task 6: Identifying and Categorizing Offensive Language in Social Media (OffensEval) // *Proceedings of the 13th International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval-2019)*. — 2019.
10. Zhang Z., Robinson D., Tepper J. Detecting Hate Speech on Social Media using BERT and LSTM Models // *ACL Workshop*. — 2021.
11. Badjatiya P., Gupta S., Gupta M., Varma V. Deep learning for hate speech detection in tweets // *Companion Proceedings of the Web Conference (WWW)*. — 2020. — P. 29–30.
12. Liu X., Zhang Y., Yu H. Large Language Models in Automated Content Moderation // *Proceedings of the 2022 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*. — 2022.
13. Ferrara E. Disinformation and social bot operations in the run up to the 2017 French presidential election // *First Monday*. — 2017. — Vol. 22, no. 8.
14. Kou Y., Gui L., Chen J., Zhao Y. Understanding online harassment on social media: A systematic literature review // *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction (PACMHCI)*. — 2020. — Vol. 4, no. CSCW2. — Article 158.
15. Leavitt A., Robinson J.J. The Role of Information Intermediaries in Social Media // *iConference 2017 Proceedings*. — 2017. — P. 714–722.
16. Carley K. M., et al. Disinformation in social media: Cognitive and predictive frameworks // *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*. — 2019. — Vol. 3, no. 2. — P. 106–119.
17. Ribeiro M.H., Calais P.H., Santos L.B., Almeida V.A., Meira W.Jr. Automatically Classifying News Content as Disinformation using Deep Neural Networks // *Journal of Information Science*. — 2021. — Vol. 47, no. 5. — P. 620–634.

ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Хаков Евгений Маратович

аспирант, Российская Академия Народного Хозяйства
и Государственной Службы
при Президенте Российской Федерации, г. Москва
evgenyhaikov@yandex.ru

THE IMPACT OF INFORMATION TECHNOLOGY ON MANAGEMENT EFFICIENCY IN MODERN ORGANIZATIONS

E. Khakov

Summary. The article examines the impact of information technologies (IT) on the efficiency of management processes in modern organizations. Special attention is given to the systematic approach to IT implementation, which involves integrating these technologies with the company's core business processes. The analysis covers theoretical approaches such as resource-based theory, transaction cost theory, and network effects theory, explaining the role of IT in enhancing productivity and reducing costs. Based on examples of using ERP systems, BI tools, and cloud technologies, the study shows that IT adoption improves planning, control, communication, and decision-making processes. The article concludes with recommendations for organizations seeking to enhance their competitiveness through the digitalization of management processes.

Keywords: information technologies, management efficiency, systematic approach, digitalization, management processes, ERP, BI.

Аннотация. В статье рассматривается влияние информационных технологий (ИТ) на эффективность управленческих процессов в современных организациях. Особое внимание уделяется системному подходу к внедрению ИТ, который предполагает их интеграцию с основными бизнес-процессами компании. Проведен анализ теоретических подходов, таких как ресурсная теория, теория транзакционных издержек и сетевых эффектов, которые объясняют роль ИТ в повышении производительности и снижении издержек. На основе примеров использования ERP-систем, BI-инструментов и облачных технологий показано, что внедрение ИТ способствует улучшению планирования, контроля, коммуникаций и принятия управленческих решений. В заключении статьи приводятся рекомендации для организаций, стремящихся повысить свою конкурентоспособность за счет цифровизации управленческих процессов.

Ключевые слова: информационные технологии, эффективность управления, системный подход, цифровизация, управленческие процессы, ERP, BI.

Цель: Целью данной статьи является анализ влияния информационных технологий на эффективность управления в современных организациях. Рассматриваются теоретические подходы к оценке роли ИТ в управленческих процессах и их практическое применение в контексте повышения производительности труда, оптимизации планирования и контроля.

Методы: В исследовании используются методы системного анализа, сравнительного анализа и теоретического моделирования. Приводится изучение научных трудов и практических примеров, а также обзор существующих теорий и концепций, таких как ресурсная теория и теория сетевых эффектов. Основное внимание уделено систематическому подходу к интеграции ИТ в управленческие процессы.

Результаты: Исследование показало, что информационные технологии существенно повышают эффективность управления за счет интеграции в ключевые управленческие процессы: планирование, контроль, коммуникации и принятие решений. Внедрение ИТ-

инструментов, таких как ERP и BI-системы, способствует сокращению времени на выполнение управленческих операций и улучшению качества решений.

Выводы: Использование ИТ в управлении современными организациями обеспечивает значительные конкурентные преимущества, позволяя оптимизировать ресурсы, повышать продуктивность и ускорять процессы принятия решений. Компании, которые внедряют ИТ на системной основе, демонстрируют лучшие результаты и большую гибкость в условиях цифровой экономики.

Введение

В условиях стремительной цифровизации современного общества информационные технологии (ИТ) стали неотъемлемым элементом управленческих процессов в организациях. ИТ не только облегчают выполнение рутинных задач, но и трансформируют подходы к управлению, способствуя созданию новых стратегий и форм взаимодействия внутри компаний. В результате повышается оперативность принятия решений, оптими-

зируются затраты и улучшаются ключевые показатели эффективности. По данным исследований, организации, внедряющие ИТ в управленческие процессы, демонстрируют значительное повышение производительности труда, улучшение качества продукции и снижение операционных рисков.

Однако внедрение ИТ само по себе не является гарантом успешности и улучшения эффективности управления. Для достижения максимальных результатов необходимо системное использование технологий, при котором ИТ становятся элементами единой системы, интегрированной в бизнес-процессы компании. В этом контексте особое внимание следует уделить рассмотрению ИТ как инструмента для повышения эффективности отдельных процессов, таких как планирование ресурсов, управление проектами, контроль производительности и принятие управленческих решений. Такой системный подход позволяет организации не только улучшить координацию работы отдельных подразделений, но и обеспечить достижение стратегических целей.

Исследование влияния ИТ на эффективность управления в организациях важно не только с теоретической, но и с практической точки зрения. Компании, осознанно интегрирующие информационные технологии в свои управленческие структуры, получают конкурентные преимущества на рынке, так как их процессы становятся более гибкими и адаптивными к внешним изменениям. Именно поэтому оценка влияния ИТ на управление становится ключевым элементом стратегического планирования, особенно в условиях цифровой экономики.

Целью данной статьи является анализ эффектов, оказываемых информационными технологиями на управленческие процессы в современных организациях. Особое внимание будет уделено рассмотрению системного подхода к внедрению ИТ и изучению взаимосвязей между различными технологиями, их влиянию на эффективность принятия управленческих решений, координацию процессов и повышение производительности труда.

Материалы и методы

Для проведения исследования влияния информационных технологий на эффективность управления в современных организациях был проведен обширный анализ научной литературы, рассматривающей различные аспекты внедрения ИТ в бизнес-процессы. Основными методами исследования стали системный анализ и сравнительный метод, позволившие оценить существующие подходы к управлению на основе ИТ-инфраструктур. Кроме того, было использовано изучение практических кейсов внедрения ИТ, что позволило выявить взаимосвязь между цифровизацией управленческих процессов и их эффективностью.

Литературный обзор

Эффективность управления является ключевым аспектом функционирования любой организации. Она отражает способность компании достигать своих стратегических целей с минимальными затратами ресурсов при условии обеспечения необходимого уровня качества. В научной литературе эффективность управления определяется как совокупность результатов деятельности, выражающихся в экономической, социальной и организационной продуктивности. Наиболее распространенными критериями оценки являются такие показатели, как уровень производительности труда, рентабельность, скорость принятия решений и степень удовлетворенности сотрудников.

С развитием цифровых технологий произошел значительный сдвиг в понимании самого процесса управления. В традиционных подходах управление рассматривалось как набор действий, направленных на планирование, организацию, мотивацию и контроль. Однако с внедрением информационных технологий эти процессы трансформировались: ИТ позволили автоматизировать рутинные задачи, повысить точность прогнозирования и аналитики, а также обеспечить более прозрачное взаимодействие между различными уровнями управления. Как отмечает Орлов Ю.В., современные информационные системы «значительно сокращают временные и ресурсные затраты на контроль бизнес-процессов, что приводит к снижению общих операционных издержек» [4, с. 56].

Существуют различные подходы к анализу влияния ИТ на эффективность управления. Одним из них является ресурсная теория, которая рассматривает информационные технологии как ключевой ресурс организации, обеспечивающий конкурентные преимущества. Согласно данной теории, ИТ являются стратегическим активом, способствующим повышению адаптивности компании и ее способности реагировать на изменения во внешней среде. В своей работе Евдокимова Е.Г. указывает, что «информационные технологии значительно ускоряют процессы внутри организации, что позволяет сократить время на выполнение задач и улучшить качество работы» [3, с. 71].

Информационные системы, такие как ERP (системы планирования ресурсов предприятия), CRM (системы управления взаимоотношениями с клиентами) и системы бизнес-аналитики, предоставляют менеджерам инструменты для оперативного контроля и анализа данных, что напрямую влияет на эффективность управленческих решений. Варзунов А.В. и соавторы подчеркивают, что «эффективное управление бизнес-процессами возможно только при детальном анализе их структуры и механизма функционирования» [1, с. 34].

Другая важная теория — это концепция транзакционных издержек, предложенная О. Уильямсоном. В рамках этой теории ИТ рассматриваются как средства, снижающие затраты на обмен информацией и координацию деятельности внутри компании. Современные технологии позволяют оптимизировать взаимодействие между подразделениями, обеспечивая оперативный доступ к информации и ускоряя процессы коммуникации. Это, в свою очередь, снижает уровень неэффективности, связанной с бюрократией и дублированием функций, что особенно важно для крупных корпораций с разветвленной структурой управления.

Кроме того, с точки зрения теории сетевых эффектов, информационные технологии способствуют усилению взаимодействия между различными участниками внутри организации. ИТ создают условия для формирования более тесных связей между подразделениями, что способствует повышению синергии в работе организации. Системная интеграция ИТ помогает объединить разрозненные элементы организационных систем в единое целое, тем самым улучшая общую координацию и эффективность управления.

Важным аспектом является также теория организационного обучения, которая рассматривает ИТ как инструмент для ускоренного накопления и передачи знаний. В условиях быстрого изменения внешней среды компании вынуждены постоянно адаптироваться и обновлять свои знания. Современные информационные системы позволяют эффективно управлять знанием, интегрируя его в процессы принятия решений и тем самым способствуя росту гибкости и адаптивности управленческой структуры. В научной работе также подчеркивается, что системы управления знаниями и ИТ-инструменты становятся «неотъемлемым элементом стратегического развития организаций».

На основе приведенных теоретических подходов можно сделать вывод, что информационные технологии играют ключевую роль в повышении эффективности управления в современных организациях. Они способствуют не только оптимизации процессов, но и обеспечивают стратегическое развитие компании, интегрируя знания, ресурсы и процессы в единый комплекс. Однако для того, чтобы оценить реальное влияние ИТ на управление, необходимо рассмотреть конкретные примеры внедрения этих технологий и их эффекты в контексте реальных организаций.

Для того чтобы оценить влияние информационных технологий на управленческие процессы, необходимо обратиться к практике их использования в реальных организациях. В современном бизнесе ключевые элементы управления — планирование, контроль, коммуникации и принятие решений — претерпели значительные изменения под воздействием ИТ. Рассмотрим влияние информационных технологий на каждый из этих элементов.

Планирование является одним из важнейших аспектов управленческой деятельности. В современных организациях информационные технологии играют решающую роль в процессах стратегического и оперативного планирования. Например, использование ERP-систем позволяет не только интегрировать данные различных подразделений, но и обеспечивать их синхронизацию в режиме реального времени. Это приводит к значительному сокращению времени на подготовку планов и повышению точности прогнозирования. В результате, организации получают возможность быстрее адаптироваться к изменениям на рынке и более эффективно распределять ресурсы. Как отмечают Варзунов и соавторы, «внедрение ERP-систем позволяет повысить производительность труда и снизить затраты на управление ресурсами» [1, с. 89].

Контроль также становится более эффективным благодаря внедрению информационных технологий. Современные системы мониторинга и аналитики позволяют не только отслеживать выполнение задач, но и оперативно выявлять отклонения от плана. Важным примером является использование систем бизнес-аналитики (BI), которые позволяют в реальном времени анализировать ключевые показатели эффективности (KPI) и быстро реагировать на изменения. Это, в свою очередь, способствует снижению уровня операционных рисков и улучшению контроля за расходами. По данным исследований, компании, активно использующие BI-системы, достигают значительного повышения качества управленческих решений и снижения расходов на контрольные функции.

Коммуникации между различными уровнями управления и подразделениями значительно улучшились благодаря внедрению таких технологий, как корпоративные социальные сети, платформы для совместной работы и облачные технологии. Эти инструменты не только способствуют ускорению обмена информацией, но и повышают прозрачность процессов внутри организации. Например, в компаниях с большим количеством филиалов использование облачных платформ позволяет быстро и эффективно обмениваться данными, устраняя задержки и снижая затраты на поддержание инфраструктуры.

Принятие решений в управленческих процессах стало более обоснованным и быстрым благодаря широкому внедрению аналитических систем и технологий искусственного интеллекта. Современные ИТ-инструменты позволяют обрабатывать большие объемы данных и предоставлять менеджерам прогнозные модели, которые помогают принимать более точные и взвешенные решения. Например, использование аналитических платформ в процессе принятия решений значительно сокращает время на анализ данных и формирование стратегических выводов. Это особенно важно для крупных организаций, работающих в условиях высокой неопределенности и сложной рыночной среды.

Таким образом, практическое использование информационных технологий в управленческих процессах на примере крупных компаний подтверждает их значительное влияние на повышение эффективности управления. Внедрение ИТ способствует улучшению планирования, контроля, коммуникаций и принятия решений, что в конечном итоге отражается на производительности и конкурентоспособности организаций.

Заключение

Внедрение информационных технологий в управленческие процессы современных организаций оказывает значительное влияние на повышение их эффективности. Как показано в рамках данного исследования, ключевые процессы управления, такие как планирование, контроль, коммуникации и принятие решений, претерпели существенные изменения под воздействием ИТ. Эти технологии не только автоматизируют рутинные задачи, но и обеспечивают более глубокую интеграцию и координацию внутри организации, что позволяет быстрее и точнее реагировать на изменения внешней среды.

Системный подход к использованию информационных технологий является одним из главных факторов, способствующих максимальной отдаче от их внедрения. Информационные технологии не должны рассматриваться в изоляции от остальных процессов и ресурсов компании. Только при условии их интеграции с другими элементами управления можно добиться повышения производительности труда, сокращения издержек и улучшения качества управленческих решений. Примером успешного системного подхода может служить использование ERP-систем, которые объединяют в себе возможности для планирования, контроля и анализа на всех уровнях организации.

Практический анализ крупных организаций, приведенный в данной работе, также подтверждает важность информационных технологий для повышения эффективности управления. Внедрение BI-систем, облачных технологий, корпоративных платформ для совместной работы и аналитических систем приводит к значительному улучшению управленческих процессов. Важно отметить, что такие изменения требуют не только значительных финансовых и временных ресурсов, но и перестройки

самой управленческой культуры. Речь идет о создании условий, при которых сотрудники всех уровней понимают важность использования ИТ и активно применяют их в своей повседневной деятельности.

Одним из ключевых выводов данного исследования является то, что информационные технологии не могут считаться универсальным решением всех проблем управления. Их эффективность напрямую зависит от готовности компании к изменениям и способности интегрировать технологии в существующие бизнес-процессы. Организации, которые осознанно подходят к процессу цифровизации, разрабатывая стратегические планы по внедрению ИТ, демонстрируют лучшие результаты по сравнению с теми, кто ограничивается внедрением отдельных инструментов без учета общей структуры управления.

На основе проведенного анализа можно выделить несколько рекомендаций для организаций, стремящихся повысить эффективность управления за счет использования информационных технологий. Во-первых, следует рассматривать ИТ как неотъемлемую часть управленческой системы и интегрировать их с другими бизнес-процессами. Во-вторых, необходимо инвестировать в обучение персонала для того, чтобы сотрудники могли эффективно использовать внедряемые технологии. В-третьих, важно разрабатывать стратегические планы цифровой трансформации, которые будут учитывать не только текущие потребности компании, но и перспективы ее развития в условиях изменяющейся внешней среды.

В заключение стоит отметить, что информационные технологии продолжают эволюционировать, и их потенциал для управления еще далеко не исчерпан. Развитие таких направлений, как искусственный интеллект, машинное обучение и блокчейн, открывает новые возможности для оптимизации управленческих процессов. В будущем можно ожидать еще большего взаимодействия между человеком и технологиями, что приведет к новым формам организации и управления. Однако для того, чтобы эти изменения действительно привели к повышению эффективности, компаниям необходимо быть готовыми к постоянной адаптации и использованию всех доступных инструментов цифровизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варзунов А.В., Торосян Е.К., Сажнева Л.П. Анализ и управление бизнес-процессами: учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2016. — 112 с.
2. Евдокимова Е.Г. Понятие бизнес-процесса. Основные концепции улучшения бизнес-процессов // Научные труды sworld. — 2011. — Т. 21, № 4. — С. 71–74.
3. Мобильные технологии в бизнесе [Электронный ресурс]. — URL: <http://softline.rbc.ru/page/mobilnyie-tehnologii-v-biznese/> (дата обращения: 20.10.2024).
4. Орлов Ю.В. Использование информационных технологий и систем для повышения эффективности управления бизнес-процессами организации // Менеджмент в России и за рубежом. — 2007. — № 5.
5. Информационные технологии в бизнесе [Электронный ресурс]. — URL: <http://economyz.ru/informatsionnye-tekhnologii-v-biznese/> (дата обращения: 19.10.2024).

© Хаков Евгений Маратович (evgenyhakov@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

БАРЬЕРЫ АКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА МИРОВОМ РЫНКЕ

EXISTING RESTRICTIONS ON THE USE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE WORLD MARKET

E. Khakov

Summary. This article is devoted to the issues of the appropriateness of the active widespread use of innovative technologies. The article examines different ways of integrating them into various business processes, as well as specific attempts to legally regulate this type of activity. The purpose of the study is to identify ways to expand the scope of digitalization institutions, to consider in detail the existing restrictions on their operation in the financial sector, as well as to identify real options for their legal regulation. The author draws a conclusion about the strategic importance of ensuring the integrity of personal information of users of information systems and services, the need to increase the security of all network operations affecting it, as well as the growing role of the state in preventing the compromise of citizens through the dishonest use of their personal data.

Keywords: restrictions, innovation, digitalization, personal data, user information, legal regulation.

Хаков Евгений Маратович

аспирант, Российская Академия Народного Хозяйства
и Государственной Службы
при Президенте Российской Федерации, г. Москва
evgenykhakov@yandex.ru

Аннотация. Данная статья посвящена вопросам уместности активного повсеместного использования инновационных технологий. В рамках работы рассматриваются способы их интеграции в различные бизнес-процессы, а также приводятся конкретные попытки юридического регулирования подобного рода деятельности. Целью проведенного исследования является обозначение путей расширения области применения институтов цифровизации, подробное рассмотрение существующих ограничений на их эксплуатацию в финансовом секторе, а также определение реальных вариантов их нормативно-правового регулирования. Автором делается вывод о стратегической важности обеспечения сохранения неприкосновенности личной информации пользователей информационных систем и сервисов, необходимости приумножения безопасности всех сетевых операций, ее затрагивающих, а также о возрастающей роли государства в вопросах недопущения компрометации граждан за счет недобросовестного использования их персональных данных.

Ключевые слова: ограничения, инновация, цифровизация, личные данные, пользовательская информация, правовое регулирование.

Продолжающийся глобальный процесс цифровой трансформации (диджитализации) является основной движущей силой для постепенного перехода мирового сообщества на новую, более высокую степень технического и технологического развития. Инновационные преобразования, прежде внедряемые лишь в отдельных отраслях науки, теперь находят активное применение и в производственной сфере, вызывая в ней значительные прогрессивные изменения и тем самым способствуя социально-экономическому развитию человеческого общества.

Инновационная технология или, иначе говоря, техническая инновация представляет собой некое принципиальное новшество в области организации труда и управления, основанное на использовании передового отраслевого опыта и достижений науки, целью которого является повышение эффективности производственной системы и качества выпускаемой продукции. Особый вид инноваций, осуществляемых на денежной основе в рамках финансовых отношений, принято называть финансовыми инновациями. По своей сути они являются уникальными для рынка формами организации экономической деятельности, которые в первую очередь характеризуются новыми возможностями

в области снижения бизнес-издержек и оптимизации рисков [2].

Каждая инновация имеет свой жизненный цикл, который определяется уровнем востребованности данного новшества на мировом рынке и который, несмотря на влияние внешних факторов, всегда включает в себя четыре этапа, а именно: возникновение, распространение, потребление и обновление. При этом продолжительность жизненного цикла — величина непостоянная, она уникальна для любой отдельно взятой инновации. Чем больше общественных потребностей способна удовлетворить инновация, а также чем больше дохода она в состоянии принести в долгосрочной перспективе, тем ценнее она становится как для социума в целом, так и для конкретного потребителя. В последнее время подобные инновации получили активное распространение в виде так называемых «публичных алгоритмов».

По своей сути любое направленное действие, основу которого составляет некий информационный пласт (совокупность полученных извне данных), является алгоритмом — единым комплексом взаимозависимых шагов или инструкций, позволяющих получить искомый

результат из ограниченного количества данных, предоставляемых на входе.

Публичные алгоритмы в настоящее время широко применяются в целях углубления понимания об инновационных процессах. Спектр их использования весьма разнообразен: обработка информации, анализ спроса и предложения, оценка рисков или вероятности наступления событий, предупреждение и быстрое разрешение возникающих критических ситуаций.

Тем не менее, важно отметить, что активное инновационное развитие создает серьезные этические проблемы и социальные риски. Действительно, инновационные технологии могут не только служить инструментами прогресса, но и ограничивать гражданские права и свободы, оказывая серьезное влияние на выбор отдельных лиц или даже групп. Бесконтрольное распространение инноваций, неограниченное какими-либо правилами и юридическими рамками, может как улучшить человеческую жизнь — сделать ее более комфортной с точки зрения эффективности реализуемых нами процессов, так и поспособствовать усугублению социального и экономического неравенства, вступая в противоречие с базовыми общественными нормами. И именно прерогатива граждан в такой ситуации определять моральные и политические цели, которые придают смысл рискам, возникающим в неопределенном быстро изменяющемся мире [3].

Повсеместное внедрение публичных алгоритмов в общественные процессы не могло не привести к дискуссиям об их регулировании — были выделены три основные причины потребности в этическом осмыслении публичных алгоритмов:

1. Публичные алгоритмы в том или ином виде регулярно и уже очень давно используются для обеспечения соблюдения закона;
2. Публичные алгоритмы являются основой социальных и экономических отношений и априори носят обязательный характер;
3. Публичные алгоритмы трудно свести к какому-либо единообразию, что значительно снижает эффективность любых управляющих функций и контролирующих воздействий.

Обучение алгоритмам можно контролировать только тогда, когда данные, входящие в информационную систему, являются качественными. Это означает невозможность проведения дальнейшего структурирования информационных массивов, если данные являются необработанными [1]. В последнем случае, алгоритм определяет лишь классификации, служащие базой для применения правил, и затем они сами постоянно корректируются к промежуточным результатам. Эти недетерминированные алгоритмы сегодня создают основу

того, что обычно принято называть искусственным интеллектом (ИИ).

В целях обеспечения защиты фундаментальных человеческих прав и свобод необходимо согласованно толковать предлагаемые базовые принципы использования и распространения автоматизированных информационных систем (АИС) с учетом конкретных социальных, культурных, политических и правовых условий их применения:

Принцип благополучия:

1. АИС должна помочь людям улучшить свои жилищные условия, их здоровье и условия работы;
2. АИС должна позволять людям следовать своим предпочтениям до тех пор, пока они не причиняют вреда другим живым существам;
3. АИС должна позволять людям осуществлять свои умственные и физические возможности;
4. АИС не должна становиться вредоносным источником, пока она позволяет достичь большего блага, чем доступного для получения любым иным способом.

Принцип уважения к автономии:

1. АИС должна позволять людям выполнять свои собственные моральные цели и их представления о жизни;
2. АИС не должна быть разработана или использована в целях прямого или косвенного навязывания образа жизни отдельных лиц путем внедрения репрессивного надзора, оценки или механизмов стимулирования;
3. Государственные учреждения не должны использовать АИС для содействия или дискредитирования определенной концепции о хорошей жизни;
4. Содействие обучению основным навыкам цифровой и медиа грамотности, а также развитию критического мышления путем обеспечения доступа к соответствующим формам знаний очень важно для расширения возможностей граждан в отношении цифровых технологий;
5. АИС не должна разрабатываться для распространения недостоверной информации, лжи или пропаганды — АИС разрабатывается с целью сдерживания их распространения;
6. Развитие в области АИС должно избегать создания зависимостей от методов захвата внимания или имитации человеческих качеств (внешность, голос и т. д.), что вызывает путаницу между АИС и людьми.

Этические размышления в таком случае должны учитывать влияние алгоритмических методов обработки информации на общество.

Активное распространение личных цифровых данных сотрудников в наши дни имеет тенденцию к постоянному увеличению объема имеющейся конфиденциальной информации у третьих лиц, что, конечно, может привести к повышению эффективности деятельности любой крупной, средней или даже малой организации, но при этом серьезно подорвать право на неприкосновенность частной жизни. Обработка персональных данных — даже обезличенных — может носить дискриминационный характер в отношении простых граждан. Однако от количества, а главное качества данных, обработанных с помощью ИИ, напрямую зависят как скорость анализа, так и его точность, ведь разнородные по своему составу информационные массивы способствуют снижению числа «галлюцинаций» — выводов, сделанных на основе усеченного, ограниченного в части источников анализа, где объективная информация частично подменяется ничем неподкрепленными «додумками» системы. Соответственно, для планомерного развития ИИ обработка персональных данных даже в обезличенной форме так или иначе является необходимым условием.

Принимая во внимание вышесказанное, можно констатировать, что залогом достижения необходимого уровня развития ИИ может послужить только очень большой объем данных, которые, учитывая специфику информации в современном мире, так или иначе затронут те сведения, что априори не могут быть общедоступными. Парадокс же заключается в том, что без этих данных на определенном этапе технического прогресса высока вероятность возникновения искусственно созданных лимитов, ограничивающих дальнейшее развитие ИИ. Поэтому одной из приоритетных задач, касающихся вопроса развития интеллектуальных технологий, является вовлечение в оборот максимального количества именно обезличенных данных, создание платформы их обработки и учета, к которой будут иметь доступ организации, занимающиеся разработкой систем ИИ при условии соблюдения всех требований по конфиденциальности. Все это подразумевает необходимость внесения поправок в федеральный закон о персональных данных, в особенности — формализующих и конкретизирующих механизмы обезличивания и контроля данных.

Любое использование подобных алгоритмов должно непременно регулироваться этическими принципами, которые частично отражаются в правовых нормах, а частично — в практических методах, которые необходимо поощрять [2]. Для разрешения стоящих перед обществом проблем, как показывает практика, принципы ответственности, человеческого участия, бдительности, разумности и лояльности должны сформировать общую нормативную базу, а также определить ее разумные пределы. В ближайшее время возникнет вопрос об ответственности государственных органов за стандарты,

которым они подчиняются — они должны учитывать все эти нормативные ограничения. Таким образом, глобальная цель инновационного проекта заключается в разработке оперативных предложений для содействия проведению операций с персональными данными в полном соответствии с существующими правовыми нормами. В более долгосрочном плане эта работа будет направлена также и на выработку практических рекомендаций по подготовке более эффективной интеграции этических принципов, которые должны осуществляться без каких-либо юридических препятствий.

Повышение частоты использования публичных алгоритмов, в том числе самообучаемых, а также их постоянное развитие, в конечном счете, только повышает этические требования. Они могут стать именно тем необходимым фактором укрепления доверия граждан к государственной власти, которого нынче порой, увы, так не хватает. В то время, как правовые рамки, касающиеся использования публичных алгоритмов, постепенно укрепляются, мировые правительства все чаще должны брать на себя ответственность за реализацию подобных программ.

Одним из наиболее значимых и труднопреодолимых барьеров использования инновационных технологий в финансовом секторе являются законодательные ограничения. Природа подобного рода ограничений кроется в устоявшихся моделях взаимодействия и принципах реализации процессов, сложившихся между основными участниками финансовых рынков на момент установления определенной регуляторной политики со стороны государственных органов. Поскольку подобного рода «рамки» устанавливаются, как правило, с некоторым запасом прочности с учетом перспективы, привычные форматы взаимодействия являются на первоначальных этапах внедрения инноваций более защищенными, чем те, что появляются и постепенно укореняются в социуме под влиянием научно-технического и экономического прогресса [3].

Опираясь на данную идею, был утвержден федеральный закон «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций в Российской Федерации» от 31.07.2020 № 252-ФЗ. Механизм экспериментальных правовых режимов призван способствовать значительному сокращению временных и других издержек, присутствующих процессу внедрения инновационных технологий.

Помимо нормативно-правовых факторов, на инновационное развитие отечественного финансового рынка влияют также экономические, административные и социальные факторы.

Главной особенностью отечественного финансового инновационного рынка является концентрация техноло-

гических компетенций непосредственно в банковской системе. Это обстоятельство, в свою очередь, влияет на сегмент самостоятельных отечественных финансовых стартапов, значительно менее развитый в сравнении с зарубежными рынками. Ключевая причина подобного рода явления заключается в отсутствии устойчивого интереса инвесторов к российским финансовым инновационным проектам. Поэтому можно сказать, что одно из наиболее существенных ограничений на использование инноваций в сфере финансов накладывает слабая инвестиционная привлекательность.

Участие госструктур и госбанков в развитии российского финансового рынка традиционно остается весьма значительным. Банк России не только выполняет функции главного регулятора, но и активно иницирует и поддерживает развитие инновационных проектов. В настоящее время под его руководством реализуется множество значимых финансовых инициатив, таких как единая биометрическая система и система быстрых платежей. Таким образом, стратегия регулирования направлена на поддержку определенных отраслей. Тем не менее, излишнее регулирование сектора в ряде случаев способно негативно сказаться на развитии и дальнейшем использовании инновационных технологий, что также можно назвать фактором, накладывающим ограничения на активное тиражирование инноваций в финансовой сфере [3].

Как показывает практика, одним из наиболее значимых рисков условно традиционного финансового сектора исторически является риск закредитованности. В то же время онлайн-кредитование был, есть и, с высокой долей вероятности, будет ключевым продуктом как на сегодняшнем финансовом рынке, так и на его будущем состоянии. Учитывая данный факт, сокраще-

ние реальных доходов граждан потенциально приведет к росту и так высокой долговой нагрузке, что неминуемо отразится на уровне жизни населения. Одним из выходов в таком случае может стать расширение применения инновационных технологий для повышения прозрачности любых видов финансовых услуг.

Однако тенденция такова, что довольно большая часть трудоспособного населения все более и более настороженно реагирует на новые технологичные решения, следя за их непрерывным развитием. Согласно результатам опроса, проведенного в 2023 г. Всероссийским центром изучения общественного мнения (ВЦИОМ), несмотря на то что подавляющее большинство россиян считают развитие технологий будущего важным для человечества, почти 20% населения опасается инноваций и испытывает к ним недоверие [4]. Низкая лояльность потребителей к определенным продуктам и услугам инновационного сегмента несколько ограничивает развитие рынка, а в некоторых случаях и вовсе может привести к полному исчезновению отдельных инновационных продуктов.

Ответственный подход к организации устойчивых информационных отношений между государством и обществом в правовом поле сейчас важен как никогда раньше. Все вышеперечисленное иной раз демонстрирует острую необходимость пересмотра сложившихся многолетних стандартов, предъявляемых к программно-аппаратным средствам при построении комплексной системы защиты предприятия и обеспечения информационной безопасности граждан. Цифровая трансформация социальной сферы уже идет полным ходом, и мировым правительствам в любом случае придется к ней адаптироваться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джеффри Д. Ульман, Альфред Ахо, Джон Хопкрофт, учебное пособие «Структуры данных и алгоритмы». — издательство «Вильямс», 2016. — 400 с.
2. М.В. Ларин, «Информационное обеспечение управления. Учебное пособие». — издательство «РГГУ», 2018. — 279 с.
3. Л.П. Гаврилов, «Инновационные технологии в коммерции и бизнесе». — издательство «Юрайт», 2024. — 372 с.
4. Отчет «Технологии будущего» от 16.06.2023//Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ) — 2023. — URL: <https://wciom.ru/> (дата обращения 25.02.2025). — Текст: электронный.

© Хаков Евгений Маратович (evgenyhakov@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АБЕМАЦИКЛИБ В КОМБИНАЦИИ С ЭНДОКРИНОТЕРАПИЕЙ ПОСЛЕ ПРОГРЕССИРОВАНИЯ НА CDK 4/6 ИНГИБИТОРАХ ПРИ МЕТАСТАТИЧЕСКОМ РАКЕ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ HR+HER2-

ABEMACICLIB IN COMBINATION WITH ENDOCRINE THERAPY AFTER PROGRESSION ON CDK 4/6 INHIBITORS IN HR+HER2— METASTATIC BREAST CANCER

N. Abduloeva
V. Moiseenko
O. Skripko
A. Sheraliev
A. Zhabina

Summary. The combination of CDK 4/6 inhibitors (iCDK 4/6) with endocrine therapy improves progression-free and overall survival in patients with luminal HER2-negative metastatic breast cancer (mBC). However, the efficacy of abemaciclib combined with subsequent hormone therapy (HT) after progression on iCDK 4/6 remains unexplored. A retrospective analysis was conducted on 100 patients with luminal HER2-negative mBC who received either HT with abemaciclib (n=49) or HT alone (n=51) after progression on iCDK 4/6 at the N.P. Napalkov St. Petersburg Clinical Oncology Center from 01.01.2022 to 31.12.2023. All patients had previously received palbociclib (53 %) or ribociclib (47 %) in combination with HT. Median PFS in the HT + abemaciclib group was 12±1.13 months (95 % CI 9.77–14.22), compared to 9±0.28 months (95 % CI 8.45–9.54) in the HT-alone group (HR=0.486; 95 % CI 0.301–0.784, p=0.003), demonstrating a significant benefit of the combination approach.

The addition of abemaciclib to HT improves PFS in patients with mBC after progression on other iCDK 4/6 inhibitors (palbociclib or ribociclib).

Keywords: iCDK 4/6, progression, abemaciclib, mBC.

Абдулоева Нурунисо Хамдуллоевна

Кандидат медицинских наук, врач-онколог,
заместитель директора по амбулаторно-
поликлинической работе ГБУЗ «СПбКНЦСВМП(о)
им. Н.П. Напалкова», Санкт-Петербург
abduloeva-n@mail.ru

Моисеенко Владимир Михайлович

Доктор медицинских наук, профессор, член-
корреспондент РАН, директор ГБУЗ «СПбКНЦСВМП(о)
им. Н.П. Напалкова», Санкт-Петербург
moiseyenko@gmail.com

Скрипко Ольга Александровна

Врач-онколог поликлинического отделения
ГБУЗ «СПбКНЦСВМП(о) им. Н.П. Напалкова»,
Санкт-Петербург
olya12skripko@yandex.ru

Шералиев Аслан Рахимджонович

Кандидат медицинских наук, врач-онколог
поликлинического отделения ГБУЗ «СПбКНЦСВМП(о)
им. Н.П. Напалкова», Санкт-Петербург
sherali.aslan@gmail.com

Жабина Альбина Сергеевна

Кандидат медицинских наук, врач-онколог,
заведующая отделом централизованного разведения
цитостатиков ГБУЗ «СПбКНЦСВМП(о)
им. Н.П. Напалкова», Санкт-Петербург
albina_zhabina@inbox.ru

Аннотация. Комбинация ингибиторов CDK 4/6 (iCDK 4/6) с эндокринотерапией повышает беспрогрессирующую и общую выживаемость у пациенток с люминальным HER2-негативным метастатическим раком молочной железы (мРМЖ). Однако эффективность абемациклиба в сочетании с последующей гормонотерапией (ГТ) после прогрессирования на фоне iCDK 4/6 остается неизученной.

Проведен ретроспективный анализ 100 пациенток с люминальным HER2— мРМЖ, получавших с 01.01.2022 по 31.12.2023 ГТ с абемациклибом (n=49) или без него (n=51) после прогрессирования на iCDK 4/6 в СПб клиническом онкоцентре им. Н.П. Напалкова. Ранее все пациентки получали палбоциклиб (53 %) или рибоциклиб (47 %) в комбинации с ГТ.

Медиана БПВ в группе ГТ + абемациклиб составила 12±1,13 мес. (95 % ДИ 9,77–14,22), в группе моно-ГТ — 9±0,28 мес. (95 % ДИ 8,45–9,54) (HR=0,486; 95 % ДИ 0,301–0,784, p=0,003), что свидетельствует о значимом преимуществе комбинированного подхода.

Добавление абемациклиба к ГТ улучшает БПВ у пациенток с мРМЖ после прогрессирования на других iCDK 4/6 (палбоциклибе или рибоциклибе).

Ключевые слова: iCDK 4/6, прогрессирование, абемациклиб, мРМЖ.

Введение

Применение комбинации CDK 4/6-ингибиторов с эндокринотерапией является предпочтительной опцией в первой линии терапии пациенток с HR+HER2— мРМЖ. В ряде крупных рандомизированных клинических исследований (РКИ) было показано значимое улучшение беспрогрессивной выживаемости при использовании данной комбинации по сравнению с эндокринотерапией в монорежиме [3, 8, 10, 12–14]. В некоторых исследованиях также удалось продемонстрировать улучшение общей выживаемости (ОВ): например, в исследовании MONALEESA-2 медиана ОВ составила для пациенток в группе рибоциклиба с летрозолом 63,9 мес. (95 % ДИ: 52,4–71,0), в группе летрозола с плацебо — 51,4 месяцев (95 % ДИ: 47,2–59,7) (HR 0,76; 95 % ДИ: 0,63–0,93; $p=0,008$) [9].

Три CDK 4/6-ингибитора — рибоциклиб, палбоциклиб и абемациклиб, — в современной клинической практике применяются в сочетании с ингибиторами ароматазы или фулвестрантом. Кроме того, абемациклиб оказался эффективным в монорежиме при HR+HER2— гормонорефрактерном мРМЖ: в исследовании II фазы MONARCH-1 частота объективного ответа составила 19,7 % (95 % ДИ: 13,3–27,5), медиана БПВ — 6 мес (95 % ДИ, 4,2–7,5) [4].

Важно, что для препаратов этой группы характерен относительно благоприятный профиль токсичности, который позволяет сохранять качество жизни пациенток, получающих терапию амбулаторно и длительно. Наиболее частые побочные эффекты включают клинически значимую нейтропению, слабость, удлинение QTc-интервала (для рибоциклиба), диарею (для абемациклиба).

Выбор оптимальной терапии и ее последовательности в случае прогрессирования после приема CDK 4/6-ингибиторов остается актуальной проблемой.

Эффективность продолжения терапии CDK 4/6-ингибиторами в последующих линиях эндокринотерапии изучалась в нескольких РКИ II фазы — PACE, PALMIRA, MAINTAIN, BioPER [1, 5, 6, 10].

В исследованиях PACE, PALMIRA и BioPER оценивалась эффективность применения палбоциклиба во второй линии эндокринотерапии, если у пациенток фиксировалось прогрессирование после приема комбинации палбоциклиб + ГТ.

В исследовании PACE пациентки были рандомизированы в соотношении 1:2:1 в 3 группы: фулвестранта ($n=55$), фулвестранта с палбоциклибом ($n=111$) и фулвестранта с палбоциклибом и авелумабом ($n=54$). Пер-

вичная конечная точка — улучшение беспрогрессивной выживаемости, — не была достигнута: медиана БПВ для обеих комбинаций составила 4,6 мес, для фулвестранта в монорежиме — 4,8 мес (HR=1,11, 90 % ДИ: 0,79–1,55; 2-sided $p=0,62$) [2].

Результаты исследования PALMIRA также не продемонстрировали улучшение БПВ в случае продолжения приема палбоциклиба: медиана БПВ составила 4,2 мес. (95 % ДИ: 3,5–5,8) в группе палбоциклиба+ГТ ($n=136$) vs 3,6 мес. (95 % ДИ 2,7–4,2) в группе ГТ ($n=62$) (HR 0,8, 95 % ДИ 0,6–1,1, $p=0,206$) [6].

В РКИ II фазы MAINTAIN было включено 119 пациенток, преимущественно получавших в первой линии терапии палбоциклиб. Таковых было 103 (86,5 %). При смене CDK 4/6-ингибитора на рибоциклиб во второй линии ГТ удалось достичь статистически значимого улучшения БПВ: в группе комбинации медиана БПВ составила 5,29 мес. (95 % ДИ: 3,02–8,12) vs 2,76 мес (95 % ДИ: 2,66–3,25) в группе ГТ с плацебо (HR=0,57 (95 % ДИ: 0,39–0,85; $p=0,006$) [11].

Эффективность применения абемациклиба в случае прогрессирования после приема CDK 4/6-ингибиторов представляет особый интерес. Препарат имеет ряд отличительных характеристик: это большая селективность в отношении CDK 4, эффективность в монорежиме, способность проникать через гемато-энцефалический барьер.

Результаты применения абемациклиба в случае прогрессирования после приема палбоциклиба были оценены в ретроспективном многоцентровом исследовании, проведенном в США. Среди 87 пациенток, включенных в анализ, 47,1 % получали абемациклиб+фулвестрант, 27,6 % — ингибитор ароматазы+абемациклиб, 25,3 % — абемациклиб в монорежиме. Медиана БПВ для всей когорты пациенток составила 5,3 мес. (95 % ДИ: 3,5–7,8), медиана общей выживаемости — 17,2 мес. (95 % ДИ: 13,2–NR) [7].

Требуется проведение дальнейших исследований для оценки эффективности комбинации абемациклиба с ГТ в случае прогрессирования после приема CDK 4/6-ингибиторов.

Материалы и методы

Работа представляет собой ретроспективное одноцентровое исследование. Его цель — оценить эффективность применения абемациклиба в комбинации с гормонотерапией в случае прогрессирования после приема CDK 4/6-ингибиторов у пациентов с люминальным HER2— мРМЖ. Мы проанализировали данные о беспрогрессивной выживаемости и частоте объективных

ответов в двух группах лечения — ГТ и ее комбинации с абемациклибом.

В исследование были включены 100 пациенток с диагнозом «метастатический рак молочной железы», которые в случае прогрессирования после приема CDK 4/6-ингибиторов получали вторую или третью линию гормонотерапии в комбинации с абемациклибом или без такового в ГБУЗ СПбКНпЦСВМП(о) им. Н.П. Напалкова с 01.01.2022 по 31.12.2023. Пациентки, получавшие ранее абемациклиб, апелелисиб или эверолимус, в данное исследование включены не были.

Методы описательной статистики применялись в зависимости от типа переменных. Для сравнения категориальных данных применялся метод Фишера или Пирсона, сравнение количественных переменных проводилось в зависимости от распределения признака.

При нормальном распределении использовался t-критерий Стьюдента, при распределении, отличном от нормального — тест Манна–Уитни. Применялся 95 % доверительный интервал и значение двустороннего «р».

Анализ выживаемости был проведен с помощью метода Каплана–Майера, при однофакторном анализе применялся логранк-критерий Мантеля–Кокса.

Статистический анализ проводился с помощью программы статистического пакета SPSS (IBM® SPSS® Statistics v. 26).

Результаты

С 01.01.2022 по 31.12.2023 в ГБУЗ «СПбКНпЦСВМП(о) им. Н.П. Напалкова» 100 пациенток с HR+HER2— метастатическим РМЖ, у которых наступило прогрессирование после гормонотерапии с CDK 4/6-ингибиторами, получали последующую линию гормонотерапии в монорежиме (n=51) или в комбинации с абемациклибом (n=49). Клинические характеристики пациенток представлены в таблице 1.

Средний возраст пациенток в группе гормонотерапии составил 60 лет ±12,1 (95 % ДИ:56,5–63,3), в группе комбинации ГТ с абемациклибом — 60 лет ±11,9 (95 % ДИ: 57–64). У большинства пациенток в исследовании

Таблица 1.

Клинические характеристики пациентов

		Абемациклиб + ГТ (n=49)		ГТ (n=51)	
		N	%	N	%
Возраст (M), годы		60±11,9 [95 %ДИ:57–64]		60±12,1 [95 %ДИ:56.5–63.3]	
ECOG	0	35	71,4 %	34	66,7 %
	1	14	28,6 %	17	33,3 %
Метастазы	Висцеральные	40	83,7 %	38	74,5 %
	De novo	6	12,2 %	8	15,7 %
	Только костные	2	4,1 %	5	9,8 %
≥2 линий ГТ	Нет	32	65,3 %	36	70,6 %
	Да	17	34,7 %	15	29,4 %
ХТ при мРМЖ	Нет	41	83,7 %	42	82,4 %
	Да	8	16,3 %	9	17,6 %
iCDK 4/6 в 1 линии	Палбоциклиб	24	49,0 %	29	56,9 %
	Рибоциклиб	25	51,0 %	22	43,1 %
Продолжительность применения iCDK 4/6 (Me), мес.		13 (IQR 7,0–26,5).		13 (IQR 8–20)	
≥12 мес. iCDK 4/6	Нет	20	40,8 %	22	43,1 %
	Да	29	59,2 %	29	56,9 %

(у 71,4 % пациенток в группе комбинации и у 66,7 % в группе ГТ) статус по шкале ECOG соответствовал 0 баллов; у остальных же статус по ECOG был равен 1. В группе ГТ было 5 пациенток (9,8 %), у которых были только костные метастазы, а в группе ГТ с абемациклибом таких было 2 (4,1 %).

Все включенные в исследование пациентки получали CDK 4/6-ингибиторы по поводу мРМЖ: для 53 участниц (53 %) это был палбоциклиб, для 47 (47 %) — рибоциклиб. Медиана применения iCDK 4/6 в группе ГТ составила 13 мес (IQR 8–20), в группе ГТ с абемациклибом — также 13 мес (IQR 7,0–26,5). Продолжительность ответа на терапию iCDK 4/6 ≥ 12 мес. в первой линии наблюдалась у 29 из 49 пациенток (59,2 %) в группе комбинации и у 29 из 51 пациентки (56,9 %) в группе ГТ.

Среди пациенток было 32 участницы исследования, получавшие промежуточную линию гормонотерапии в случае прогрессирования после приема iCDK 4/6: 17 (34,7 %) в группе комбинации vs 15 (29,4 %) в группе ГТ.

Также 17 пациенток в процессе лечения получали лишь одну линию химиотерапии по поводу мРМЖ: их было 8 (16,3 %) в группе гормонотерапии с абемациклибом и 9 (17,6 %) в группе гормонотерапии

Медиана наблюдения для всей когорты пациенток составила 9 мес. (IQR 7–11). Беспрогрессивная выживаемость пациенток в зависимости от варианта получаемой терапии представлена на рис. 1 с помощью кривой Каплана–Майера.

По данным проведенного анализа, медиана срока беспрогрессивной выживаемости, соответствующая

предполагаемому сроку наступления прогрессирования не менее, чем у 50 % пациенток, для группы ГТ с абемациклибом составила $12 \pm 1,13$ мес. (95 % ДИ 9,77–14,22), а в группе гормонотерапии — $9 \pm 0,28$ мес. (95 % ДИ 8,45–9,54) (HR=0,486; ДИ 0,301 — 0,784, p=0,003).

Показатель шестимесячной БПВ составил 82 % для группы ГТ vs 92 % для группы ГТ с абемациклибом, двенадцатимесячной БПВ — 10 % и 51 % соответственно. Беспрогрессивная выживаемость пациентов при различных сроках наблюдения от начала терапии представлена в таблице 2.

Таблица 2.

Беспрогрессивная выживаемость пациентов в зависимости от варианта лечения

Получаемая терапия	Сроки наблюдения, мес.	N пациенток, оставшихся под наблюдением к концу интервала, чел.	Беспрогрессивная выживаемость, %
ГТ	3	50	98
	6	41	82
	9	28	69
	12	4	10
ГТ + абемациклиб	3	49	100
	6	42	92
	9	31	73
	12	18	51

При оценке влияния факторов на беспрогрессивную выживаемость с помощью логранкового критерия

Кривая Каплана-Майера, характеризующая беспрогрессивную выживаемость в зависимости от варианта терапии

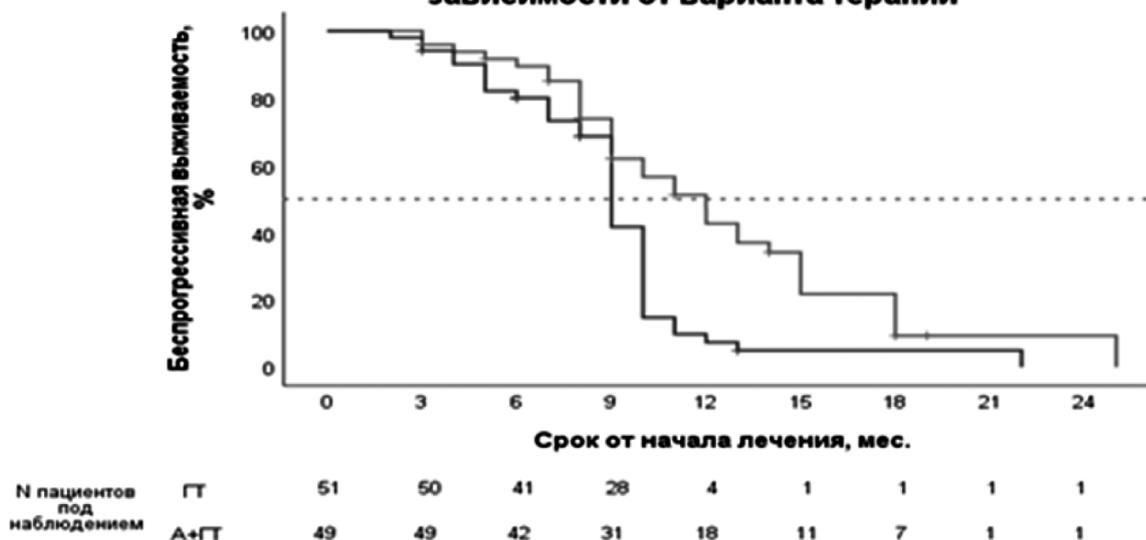


Рис. 1. Кривая Каплана–Майера, характеризующая беспрогрессивную выживаемость в зависимости от получаемой терапии

Мантеля–Кокса статистически значимого воздействия выявлено не было. Результаты анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3.
Сравнение БПВ пациентов в зависимости от факторов риска

Фактор		Беспрогрессивная выживаемость, мес. Ме±SE (95 % ДИ)	p-value
ECOG	0	10±0,75 (8,5–11,4)	0,376
	1	10±0,32 (9,3–10,6)	
≥65 лет	Нет	10±0,39 (9,2–10,7)	0,859
	Да	9±0,45 (8,1–9,8)	
≥2 линии ГТ	Нет	9±0,38 (8,2–9,7)	0,134
	Да	10±0,42 (9,2–10,9)	
ХТ при мРМЖ	Нет	10±0,31 (9,4–10,6)	0,787
	Да	10±0,83 (8,4–11,6)	
Только костные метастазы	Нет	10±0,31 (9,4–10,6)	0,681
	Да	10±1,14 (7,77–12,2)	
iCDK 4/6 в первой линии	Палбоциклиб	10±0,36 (9,3–10,7)	0,193
	Рибоциклиб	9±0,48 (8,1–9,9)	
≥ 12 мес iCDK 4/6 в первой линии	Нет	10±0,45 (9,1–10,9)	0,408
	Да	9±0,37 (8,3–9,7)	

В группе пациенток, получавших ГТ в сочетании с абемациклибом, частота стабилизации составила соответственно 51 % (n=25), в группе ГТ — 39,2 % (n=20) (p=0,236), частота объективного ответа — 6,1 % (n=3), и 11,8 % (n=6) (p=0,488).

Обсуждение

Применение CDK 4/6-ингибиторов в комбинации с ГТ позволило значимо улучшить беспрогрессивную и общую выживаемость пациенток с HR+HER2— мРМЖ. Поиск оптимальной в случае прогрессирования после приема CDK 4/6-ингибиторов все еще остается актуальной задачей.

В нескольких РКИ II фазы сравнивали БПВ пациенток, у которых был изменен режим гормонотерапии и продолжена терапия CDK 4/6-ингибиторами, или назначена ГТ в монорежиме. В исследованиях PACE, PALMIRA и BioPER пациентки получали последующую ГТ в комбинации с ранее используемым iCDK 4/6, а именно, палбоциклибом. Достичь улучшения БПВ исследователям не удалось. Характерным отличием РКИ MAINTAIN стала смена CDK 4/6-ингибитора на рибоциклиб в группе пациенток, получавших комбинацию препаратов. Ранее 103 пациентки (86,5 %), включенных в исследование, получали палбоциклиб. Улучшение беспрогрессивной выживаемости в группе комбинации ГТ с рибоциклибом достигло статистической значимости: медиана БПВ составила 5,29 мес. (95 % ДИ: 3,02–8,12) vs 2,76 мес. (95 % ДИ: 2,66–3,25) в группе ГТ с плацебо (HR=0,57 (95 % ДИ: 0,39–0,85; p=0,006).

Исследований, в которых в случае прогрессирования после приема CDK 4/6-ингибиторов применялся бы абемациклиб, пока не было проведено. При этом известно, что препарат обладает рядом фармакодинамических и фармакокинетических свойств, отличающих его от иных препаратов данной группы: это другой режим приема, большая селективность к CDK 4, возможность проникать через гематоэнцефалический барьер. Кроме того, в РКИ II фазы MONARCH-1 была показана эффективность абемациклиба в монорежиме среди пациентов с гормононефрактерным HR+HER2— мРМЖ.

В нашем исследовании смена iCDK 4/6 на абемациклиб в комбинации со следующей линией ГТ показала статистически значимое улучшение БПВ по сравнению с ГТ в монорежиме: 12±1,13 мес. (95 % ДИ 9,77–14,22) vs 9±0,28 мес. (95 % ДИ 8,45–9,54) (HR=0,486; ДИ 0,301–0,784, p=0,003). Однако значимыми ограничениями данной работы являются малая выборка пациентов и ретроспективный характер исследования.

Тем не менее результаты нашего исследования подчеркивают необходимость дальнейшего изучения этого вопроса. В настоящее время проводятся РКИ III фазы (PostMonarch, Ember-3), посвященные решению данной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mayer E.L. GS3-06 Palbociclib After CDK4/6i and Endocrine Therapy (PACE): A Randomized Phase II Study of Fulvestrant, Palbociclib, and Avelumab for Endocrine Pre-treated ER+/HER2— Metastatic Breast Cancer / E.L. Mayer, Y. Ren, N. Wagle et al. // Cancer Research. — 2023. — Т. 83. — Abstract GS3-06. — № 5_Supplement. — P. GS3-06.
2. Mayer E.L. Palbociclib after CDK and endocrine therapy (PACE): A randomized phase II study of fulvestrant, palbociclib, and avelumab for endocrine pre-treated ER+/HER2— metastatic breast cancer. / E.L. Mayer, S.A. Wander, M.M. Regan et al. // Journal of Clinical Oncology. — 2018. — Т. 36. — № 15_suppl. — P.TPS1104–TPS1104.
3. Kalinsky K. postMONARCH: A phase 3 study of abemaciclib plus fulvestrant versus placebo plus fulvestrant in patients with HR+, HER2—, metastatic breast cancer following progression on a CDK4 & 6 inhibitor and endocrine therapy. / K. Kalinsky, R.M. Layman, P.A. Kaufman et al. // Journal of Clinical Oncology. — 2022. — Т. 40. — № 16_suppl. — P. TPS1117–TPS1117.

4. Dickler M.N. MONARCH 1, A Phase II Study of Abemaciclib, a CDK4 and CDK6 Inhibitor, as a Single Agent, in Patients with Refractory HR+/HER2– Metastatic Breast Cancer / M.N. Dickler, S.M. Tolaney, H.S. Rugo et al. // *Clinical Cancer Research*. — 2017. — Vol. 23. — № 17. — P. 5218–5224.
5. Albanell J.J. Palbociclib Rechallenge for Hormone Receptor–Positive/HER-Negative Advanced Breast Cancer: Findings from the Phase II BioPER Trial / J. Albanell, J.M. Pérez-García, M. Gil-Gil et al. // *Clinical Cancer Research*. — 2023. — Vol. 29. — № 1. — P. 67–80.
6. Llombart-Cussac A. Second-line endocrine therapy (ET) with or without palbociclib (P) maintenance in patients (pts) with hormone receptor-positive (HR[+])/human epidermal growth factor receptor 2-negative (HER2[-]) advanced breast cancer (ABC): PALMIRA trial. / A. Llombart-Cussac, C. Harper-Wynne, A. Perello et al. // *Journal of Clinical Oncology*. — 2023. — Vol. 41. — № 16_suppl. — P. 1001–1001.
7. Wander S.A. Clinical Outcomes With Abemaciclib After Prior CDK4/6 Inhibitor Progression in Breast Cancer: A Multicenter Experience / S.A. Wander, H.S. Han, M.L. Zangardi et al. // *Journal of the National Comprehensive Cancer Network: JNCCN*. — 2021. — Mar. 24. — P. 1–8.
8. Goetz M.P. MONARCH 3: Abemaciclib As Initial Therapy for Advanced Breast Cancer / M.P. Goetz, M. Toi, M. Campone et al. // *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*. — 2017. — T. 35. — MONARCH 3. — № 32. — P. 3638–3646.
9. Hortobagyi G.N. Overall Survival with Ribociclib plus Letrozole in Advanced Breast Cancer / G.N. Hortobagyi, S.M. Stemmer, H.A. Burris et al. // *The New England Journal of Medicine*. — 2022. — T. 386. — № 10. — P. 942–950.
10. Finn R.S. Palbociclib and Letrozole in Advanced Breast Cancer / R.S. Finn, M. Martin, H.S. Rugo et al. // *The New England Journal of Medicine*. — 2016. — T. 375. — № 20. — P. 1925–1936.
11. Kalinsky K. Randomized Phase II Trial of Endocrine Therapy With or Without Ribociclib After Progression on Cyclin-Dependent Kinase 4/6 Inhibition in Hormone Receptor-Positive, Human Epidermal Growth Factor Receptor 2-Negative Metastatic Breast Cancer: MAINTAIN Trial / K. Kalinsky, M.K. Accordino, C. Chiuzan et al. // *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*. — 2023. — T. 41. — № 24. — P. 4004–4013.
12. Tripathy D. Ribociclib plus endocrine therapy for premenopausal women with hormone-receptor-positive, advanced breast cancer (MONALEESA-7): a randomised phase 3 trial / D. Tripathy, S.-A. Im, M. Colleoni et al. // *The Lancet. Oncology*. — 2018. — T. 19. — № 7. — P. 904–915.
13. Sledge G.W. The Effect of Abemaciclib Plus Fulvestrant on Overall Survival in Hormone Receptor-Positive, ERBB2-Negative Breast Cancer That Progressed on Endocrine Therapy-MONARCH 2: A Randomized Clinical Trial / G. W. Sledge, M. Toi, P. Neven et al. // *JAMA oncology*. — 2020. — T. 6. — № 1. — P. 116–124.
14. Hortobagyi G.N. Updated results from MONALEESA-2, a phase III trial of first-line ribociclib plus letrozole versus placebo plus letrozole in hormone receptor-positive, HER2–negative advanced breast cancer / G.N. Hortobagyi, S.M. Stemmer, H.A. Burris et al. // *Annals of Oncology: Official Journal of the European Society for Medical Oncology*. — 2018. — T. 29. — № 7. — P. 1541–1547.

© Абдулоева Нуринисо Хамдуллоевна (abduloeva-n@mail.ru); Моисеенко Владимир Михайлович (moiseykov@gmail.com);
Скрипко Ольга Александровна (olya12skripko@yandex.ru); Шералиев Аслан Рахимджонович (sherali.aslan@gmail.com);
Жабина Альбина Сергеевна (albina_zhabina@inbox.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ЛЕЧЕНИЮ ДЛИТЕЛЬНО НЕЗАЖИВАЮЩИХ РАН: ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ

MODERN APPROACHES TO THE TREATMENT OF LONG NON- HEALING WOUNDS: OUR EXPERIENCE

Abualrub Nemr Amin
Z. Kurbanova
M. Kurbanismailova
Kh. Omarova

Summary. Introduction. Today, it is relevant to introduce into clinical practice more advanced methods of treatment of long-term non-healing wounds. The relevance of the study is due to the fact that in the available literature there are only a few publications devoted to a step-by-step description of the use of wound coverings in the complex therapy of this type of wounds. The *aim* of the study is to reveal the experience of using new treatment methods that stimulate reparative processes in complicated wounds, taking into account the stages of the wound process. *Materials and methods.* We have attempted to describe the results of the experience of using a set of treatment methods that stimulate reparative processes based on specialized dressings with the inclusion of wound coverings for long-term non-healing wounds. To determine the effect of wound coatings on the healing of a purulent wound, it was determined based on a decrease in the wound surface in dynamics, as well as improvement, preservation of tissue integrity and complete wound healing. *The results of the study.* The use of a complex of treatment methods that stimulate reparative processes based on specialized dressings with the inclusion of wound coatings for long-term non-healing wounds has shown the acceptability and expediency of their use in different combinations and at different stages of the course of wound the process. *Conclusion.* In the course of the research, the experience of using new treatment methods that stimulate reparative processes in the context of complex treatment of long-term non-healing wounds is revealed. The presented complex is promising for its use in clinical practice, which will allow us to get closer to solving the difficult task of treating long-term non-healing wounds.

Keywords: long-term non-healing wound, wound coatings, reparative processes, antibiotic therapy, infection prevention.

Абуалруб Немр Амин

Аспирант, ФГБОУ ВО «Дагестанский Государственный
Медицинский Университет» Минздрава России,
Махачкала, Россия
Nemiir.1994@gmail.com

Курбанова Зарема Вахаевна

д.м.н., профессор, Главный внештатный специалист
МЗ РД по пластической, реконструктивной хирургии
и эстетической медицине, Аттестованный
эксперт Росздравнадзора по пластической хирургии,
действительный член РОХ, РОПРЭХ И РОГ, Заслуженный
врач Республики Дагестан, ФГБОУ ВО «Дагестанский
Государственный Медицинский Университет»
Минздрава России, Махачкала, Россия
Kurbanova.zarema@gmail.com

Курбанисмаилова Мерен Гаджиевна

к.м.н., ФГБОУ ВО «Дагестанский Государственный
Медицинский Университет» Минздрава России,
Махачкала, Россия
meren.1967@mail.ru

Омарова Хадижат Загирбеговна

к.м.н., ФГБОУ ВО «Дагестанский Государственный
Медицинский Университет» Минздрава России,
Махачкала, Россия
mica72@rambler.ru

Аннотация. Введение. На сегодняшний день актуальным является внедрение в клиническую практику более совершенных методов лечения длительно незаживающих ран. Актуальность исследования обусловлена тем, что в доступной литературе встречаются лишь единичные публикации, посвященные поэтапному описанию применения раневых покрытий в комплексной терапии этого типа ран.

Цель исследования — раскрыть опыт применения новых методов лечения, стимулирующих репаративные процессы в осложненных ранах, с учетом этапов течения раневого процесса.

Материалы и методы. Нами была предпринята попытка описать результаты опыта применения комплекса методов лечения, стимулирующих репаративные процессы, на основе специализированных повязок с включением раневых покрытий при длительно незаживающих ранах. Для определения влияния раневых покрытий на заживление гнойной раны определяли на основе уменьшения раневой поверхности в динамике, а также улучшения, сохранения целостности тканей и полного заживления ран.

Результаты исследования. Применение комплекса методов лечения, стимулирующих репаративные процессы, на основе специализированных повязок с включением раневых покрытий при длительно незаживающих ранах показало приемлемость и целесообразность их использования в разных сочетаниях и на разных этапах течения раневого процесса.

Заключение. В процессе исследования раскрыт опыт применения новых методов лечения, стимулирующих репаративные процессы в условиях комплексного лечения длительно незаживающих ран. Представленный комплекс является перспективным для его использования в клинической практике, что позволит приблизиться к решению сложной задачи — лечению длительно незаживающих ран.

Ключевые слова: длительно незаживающая рана, раневые покрытия, репаративные процессы, покрытия, антибиотикотерапия, профилактика инфекций.

Введение

Рана — это тип травмы, которая приводит к потере непрерывности кожи, тканей и слизистых оболочек. В зависимости от времени и особенностей процесса заживления раны классифицируются как острые и длительно незаживающие. Во всем мире около 1 % взрослого населения страдает от длительно незаживающих ран, которые могут иметь очень разную этиологию [1]. По мере старения населения, ожидается, что число пациентов с длительно незаживающими ранами будет увеличиваться и этот тип ран по-прежнему будет оставаться долгосрочной проблемой для этой группы населения. Большинство длительно незаживающих ран можно отнести к категории диабетических язв стопы, венозных язв ног, ишемических ран из-за заболевания периферических артерий или ушибов от давления.

Наряду с категоризацией этих ран важно понимать и оценивать все другие факторы и редкие раны, которые могут ухудшить способность заживления ран как внутренние, так и внешние. В отличие от острых ран, хронические раны осложняются замедленным заживлением и чаще возникают у пожилых людей, пациентов с диабетом, сосудистыми заболеваниями, ожирением, недоеданием и хроническим механическим стрессом или комбинацией этих факторов [2]. Раневая инфекция является одним из наиболее распространенных и важных осложнений течения раневого процесса. Проблемы лечения длительно незаживающих ран и раневой инфекции, а также восстановления утраченного кожного покрова при заболеваниях и повреждениях различной этиологии, остаются по-прежнему актуальными [3].

Связь длительно незаживающих ран и раневой инфекции отражает взаимную причинность. Большинство длительно незаживающих ран колонизированы полимикробными сообществами, которые могут образовывать биопленки, что приводит к чрезмерному воспалению и восприимчивости к инфекциям, значительно задерживающим заживление ран [4]. Правильное лечение, направленное на раневую инфекцию, может сократить процесс заживления, в то время как отсроченное лечение может увеличить площадь раны или даже привести к дальнейшему ухудшению, такому как системная инфекция.

Кровообращение и напряжение кислорода также являются ключевыми моментами заживления ран. Кислород является необходимым условием клеточного метаболизма и других нормальных функций клеток. Напряжение кислорода в раневой ткани зависит от перфузии крови, плотности капилляров, локального давления кислорода в крови, локального потребления кислорода и т. д. Кроме того, предполагается, что процессы заживления ран, связанные с кислородом, могут быть от-

четливо ускорены при более высоком уровне pO_2 , чем в других тканях. Кроме того, иммунные клетки, которые приводят к стойкому воспалению хронических ран, также могут выделять цитокины, которые вызывают сужение сосудов, в конечном итоге снижая напряжение кислорода в месте раны. Гипоксия в ранах будет наоборот препятствовать нормальному прогрессу заживления ран [5].

Ключом к успешной терапии пациентов с длительно незаживающими ранами является комбинированный подход к выявлению и лечению причины раны, оптимизации системных патологических процессов и патофизиологии [6]. Но, несмотря на значительные достижения в лечении ран за последние десятилетия, ученые и клиницисты продолжают разрабатывать новые терапевтические подходы, направленные на профилактику и контроль инфекций как в целом, так и для длительно незаживающих ран, в частности [7].

На сегодняшний день существует множество продуктов, методов лечения и методик для местного лечения ран, поэтому индивидуальный выбор часто может быть сложным. Выбор терапии и продуктов часто основывается на опыте специалистов здравоохранения, местных руководствах и рекомендациях, а также на указаниях, полученных в ходе научных исследований [8].

Своеобразной лекарственной формой являются раневые покрытия (РП). Применение РП позволяет существенно повысить эффективность лечения длительно незаживающих ран. В настоящее время в клинической практике используется более 300 видов раневых покрытий. Основные требования, предъявляемые к РП, заключаются в создании оптимальной микросреды для заживления ран, высокой абсорбционной способности в отношении раневого экссудата, способности предотвращать проникновение микроорганизмов, достаточной проницаемости для газов, паров воды, эластичности, отсутствию пирогенного, антигенного, токсического, местного раздражающего и аллергического действий [9].

По форме изготовления и способу применения РП подразделяются на: губки, гелеобразующие покрытия, пленочные покрытия, покрытия, формирующиеся при распылении композиции в виде аэрозоля, а также комбинированные покрытия.

Основой улучшения качества лечения пациентов с длительно незаживающими ранами при помощи РП невозможно без поиска современных комбинаций и составов РП для этого типа ран, учитывающих фазы течения гнойно-воспалительного процесса на различных участках кожи [10].

Цель исследования: раскрыть опыт применения новых методов лечения, стимулирующих репаративные

процессы в осложненных ранах, с учетом этапов течения раневого процесса.

Материалы и методы

Нами была предпринята попытка описать результаты опыта применения комплекса методов лечения, стимулирующих репаративные процессы, на основе специализированных повязок с включением раневых покрытий при длительно незаживающих ранах.

Так, гелеобразующие покрытия относятся к гидрогелям для ран с минимальной экссудацией. Гидрогели моментально создают влажную среду, способны поглощать раневое отделяемое, способствуют регидратации и отторжению некроза, уменьшают боли, не прилипают к ранам.

Губчатая повязка с гидрогелевым покрытием для лечения хронических или плохо заживающих ран на стадиях эпителизации и грануляции, а также используем атравматическим сетчатым повязкам для лечения ран с умеренной экссудацией. Они хорошо проницаемы, легко моделируются на ранах сложной конфигурации, не прилипают к ране, защищают грануляции, поддерживают влажную среду, но требуют вторичного покрытия.

Гидрофильным губчатым повязкам используем для ран с выраженной экссудацией. Они хорошо абсорбируют жидкость, стимулируют грануляции, способствуют профилактике мацерации кожи.

Гидроколлоидам используем для ран с умеренной экссудацией. Они хорошо абсорбируют жидкость, хорошо стимулируют и защищают грануляции, являясь самофиксирующимися и гипоаллергенными.

Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией ВМА последнего пересмотра (2008 г., Сеул), правилами Надлежащей клинической практики и другими применимыми в Российской Федерации нормативными документами с подписанием письменного согласия пациентов, госпитализированных в отделении хирургии ЧУЗ Клиническая Больница «РЖД Медицина» г. Махачкала, на участие в его проведении.

Для определения влияния раневых покрытий на заживление гнойной раны использовали планиметрический метод Л.Н. Поповой (1942) на основе определения площади раны с регистрацией скорости уменьшения раневой поверхности в динамике.

Оценивали динамику показателей заживления ран в процессе лечения (1 месяц) и в течение 1 месяца после лечения, а также улучшение, сохранение целостности тканей и полное заживление ран.

Результаты исследования

Согласно визуальной оценке в первой фазе раневого процесса основными причинами длительно не заживающих ран были: инфекция, гиперергическая воспалительная реакция, обусловленная перераздражением нервных центров, нарушение обмена веществ, авитаминозы, общее истощение пациентов.

Лечение в этой фазе было направлено на: подавление инфекции; снятие гиперергии и нормализацию трофики; насыщение организма активными антибиотиками; применение полного объема хирургической обработки, с последующим созданием и поддержанием сбалансированной влажной раневой среды, удалением избыточного экссудата (раневого отделяемого), защиты раны от вторичного инфицирования, поддержания постоянства раневой среды, защиты раны от механического и химического раздражения поверхности).

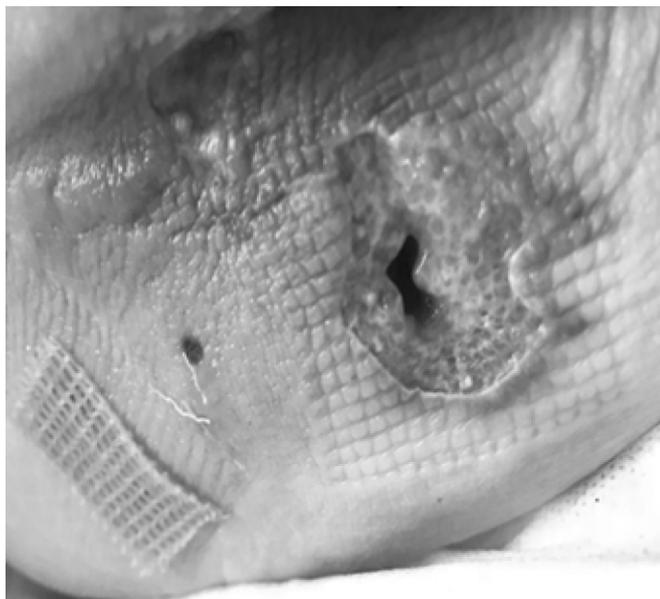
Во второй фазе раневого процесса возникновение длительно незаживающих ран обусловлено: неблагоприятным течением первой фазы; нарушением трофики; значительным ацидозом или алкалозом в зоне раны, что способствует развитию патологических грануляций; инфицированием стафилококками, кишечной и синегнойной палочками; обширными гранулирующими дефектами; истощением регенеративных возможностей эпителиального покрова; систематическим загрязнением ран, наличием в них инородных предметов, вяло протекающего некроза фасций, связок и сухожилий; наличием костных секвестров остеомиелита; нарушением обмена веществ; авитаминозом; алиментарным истощением и некоторыми другими причинами.

Лечение во второй фазе раневого процесса было комплексным, направленным на устранение перечисленных причин, обязательно использование новокаиновой терапии и других способов, нормализующих трофику и кровоснабжение раны, а также использование инновационных повязок по усовершенствованной методике, способствующих закрытию обширных гранулирующих дефектов эпителиальным покровом.

На стадии пролиферации мы использовали гидрогелевый сорб-гель, чередуя с гидроклином, в сочетании с левомеколем и бетедином. Указанное сочетание позволило поддержать аутолитическое очищение раны, ингибировать рост бактерий и усилить грануляцию за счет устранения избытка матриксных металлопротеаз.

На стадии пролиферации мы использовали гелеобразующие покрытия, чередуя с гидроклином, в сочетании с левомеколем и бетедином. Указанное сочетание позволило поддержать аутолитическое очищение раны, ингибировать рост бактерий и усилить грануляцию.

за счет устранения избытка матричных металлопротеаз (рис. 1).



Источник: Составлено автором на основании собственных данных

Рис. 1. Стадия пролиферации. Уменьшение раневого отделяемого, появление грануляционной ткани, с формированием краев раны

На переходной стадии от пролиферации к рубцеванию мы использовали повязки гелеобазующие с пленочные покрытия, которые поглощали секрет раны, одновременно создавая сбалансированную влажную среду, что стимулировало заживление раны (рис. 2).



Источник: Составлено автором на основании собственных данных

Рис. 2. Стадия перехода от пролиферации к грануляции. Характеризуется уменьшением размеров раны, отсутствием отека, очищением от гнойного секрета

Далее протекала стадия рубцевания (рис. 3).



Источник: Составлено автором на основании собственных данных

Рис. 3. Стадия рубцевания

Отмечено постепенное сокращение площади раневой поверхности с полным заживлением раны после проведенного лечения, характеризующегося сохранением целостности тканей и минимизацией риска повторного инфицирования. Результаты краткосрочного наблюдения показали стабильное состояние заживших участков, отсутствие признаков воспаления и улучшение общего состояния тканей. Эти данные свидетельствуют о высокой эффективности выбранной стратегии лечения в ускорении регенеративных процессов.

Обсуждение

Результаты нашего исследования продемонстрировали эффективность комплексного подхода с использованием специализированных раневых покрытий в лечении длительно незаживающих ран. Основываясь на визуальной оценке, было выявлено несколько ключевых факторов, влияющих на заживление, таких как инфекция, воспалительная реакция и нарушения обмена веществ. Наш подход, направленный на поддержание влажной раневой среды и регулирование уровня экссудата, показал положительные результаты в ускорении заживления.

Сравнивая наши результаты с данными предыдущих исследований, описанных в литературе, можно отметить

следующие сходства и различия. Например, Smith и коллеги [1] сообщают, что удаление некротизированных тканей (дебридемент) в значительной мере ускоряет заживление хирургических ран. Наши данные подтверждают эту находку, подчёркивая важность хирургической обработки и использования повязок, для поддержания аутолитического очищения и ингибирования бактериального роста в ране.

Использование гибридных антисептических схем на стадии пролиферации, как показали наши данные и работы Ousey и др. [5], обеспечивало более активное гранулирование и заживление за счёт сдерживания бактериального роста и оптимизации влажности в ране.

На основании полученных результатов и анализа ранее опубликованных данных, мы рекомендуем следующие стратегии для оптимизации лечения длительно незаживающих ран:

1. Регулярное удаление некротизированных тканей и контроль инфекционного процесса на всех стадиях раневого заживления.
2. Использование специализированных повязок для поддержания оптимальной влажности и стимуляции клеточного роста.
3. Обеспечение комплексного подхода к лечению, включающего антисептическую терапию и поддержание гомеостаза в раневой среде.
4. Адаптация терапевтических стратегий в зависимости от стадии раневого процесса и индивидуальных характеристик пациента.

Эти рекомендации могут значительно улучшить результаты терапии и скорость заживления длительно не-

заживающих ран, помогая клиницистам эффективно лечить сложные случаи в хирургической практике.

Заключение

Уход за ранами требует понимания нормального заживления ран, причин задержки их заживления и управления. Каждая рана должна лечиться с учетом причины, хроничности, местоположения и уровня микробного заражения, а также критических факторов со стороны пациента, которые в значительной степени влияют на заживление ран, таких как возраст, иммуносупрессия, питание, наличие инфекции и т.д.

В процессе наблюдения нами было выявлено, что основной механизм развития длительно незаживающих ран является нарушение межклеточных и клеточно-матриксных взаимодействий, изменение метаболизма внеклеточного матрикса.

Знание широкого спектра методик и их освоение дает возможность специалистам найти индивидуальный подход к каждому пациенту и к любой хронической ране. Применение комплекса методов лечения, стимулирующих репаративные процессы, на основе специализированных повязок с включением раневых покрытий является перспективным для его использования как патогенетически обоснованного способа воздействия на раневую процесс, что позволит приблизиться к решению сложной задачи, имеющей большое медицинское, социальное и экономическое значение, — лечению длительно незаживающих ран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smith F., Donaldson J., Brown T. Debridement for surgical wounds. *Cochrane Database Syst Rev.* — 2024. — №.5(5). — P. CD006214. DOI:10.1002/14651858.CD006214.pub5
2. Dissemont J. Diagnostik und Therapielokaler Wundinfektionen [Diagnostics and treatment of local wound infections]. *Z Gerontol Geriatr.* — 2023. — №. 56(1). — P. 48–52. DOI:10.1007/s00391-021-01984-7
3. Олифинова О.С., Козка А.А. Современный комплексный подход к лечению обширных длительно незаживающих ран. *Сибирское медицинское обозрение.* — 2017. — №. (3). — P. 21–25. DOI: 10.20333/2500136-2017-3-21-25
4. Sterpione F., Mas K., Rippon M., et al. The clinical impact of hydroresponsive dressings in dynamic wound healing: Part I. *J Wound Care.* — 2021. — №. 30(1). — P.15–24. DOI:10.12968/jowc.2021.30.1.15
5. Ousey K., Hodgson H., Rippon M.G., Rogers A.A. Hydro-responsive wound dressings for treating hard-to-heal wounds: a narrative review of the clinical evidence. *J Wound Care.* — 2021. — №. 30(12). — P. 980–992. DOI:10.12968/jowc.2021.30.12.980
6. Блатун Л.А., Аскеров Н.Г., Чекмарева И.А., Магомедова С.Д., Борисов И.В., Ушаков А.А., и др. Ацербин в комплексном лечении длительно незаживающих ран. Раны и раневые инфекции. *Журнал имени профессора Б. М. Костюченко.* — 2018. — №. 5(2). — С. 32–40.
7. Глухов А.А., Андреев А.А., Аралова М.В., и др. Персонализированное местное лечение длительно незаживающих ран. *Амбулаторная хирургия.* — 2023. — Т. 20, № 2. — С. 80–87. — DOI: 10.21518/akh2023-034. — EDNMAJKHK.
8. Boersema G.C., Smart H., Giaquinto-Cilliers M.G.C., Mulder M., Weir G.R., Bruwer F.A., et al. Management of Nonhealable and Maintenance Wounds: A Systematic Integrative Review and Referral Pathway. *Adv Skin Wound Care.* — 2021. — №. 34(1). — P. 11–22. DOI: 10.1097/01.ASW.0000722740.93179.9f. PMID: 33323798.
9. Kalan L., Loesche M., Hodkinson B.P., et al. Redefining the Chronic-Wound Microbiome: Fungal Communities Are Prevalent, Dynamic, and Associated with Delayed Healing. *mBio.* — 2016. — №. 7(5). — P. e01058-16. DOI:10.1128/mBio.01058-16
10. Liu Y.F., Ni P.W., Huang Y., Xie T. Therapeutic strategies for chronic wound infection. *Chin J Traumatol.* — 2022. — №. 25(1). P. 11–16. DOI: 10.1016/j.cjte.2021.07.004. Epub 2021 Jul 6. PMID: 34315658; PMCID: PMC8787234.

© Абуллуб Немр Амин (Nemir.1994@gmail.com); Курбанова Зарема Вахаевна (Kurbanova.zarema@gmail.com); Курбанисмаилова Мерен Гаджиевна (meren.1967@mail.ru); Омарова Хадиджат Загирбековна (mica72@rambler.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СТОМАТОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ПАЦИЕНТОВ С ДИСФУНКЦИЕЙ ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНЫХ СУСТАВОВ С ПОМОЩЬЮ РЕПОЗИЦИОННОГО ОРТЕЗА

DENTAL REHABILITATION OF PATIENTS WITH TEMPOROMANDIBULAR JOINT DYSFUNCTION USING A REPOSITIONAL ORTHOSIS

**Yu. Gurevich
V. Prohorova**

Summary. The article presents a clinical case of complex dental rehabilitation of a patient with painful dysfunction of the temporomandibular joint (TMJ), which developed against the background of occlusal relationship disorders and partial adentia. At the first stage of therapy, orthopedic correction of the lower jaw position was performed using an individual repositioning orthosis, which led to complete relief of pain and normalization of the position of the joint elements, as confirmed by multispiral computed tomography data. The presented data confirm the high clinical effectiveness of the repositioning orthosis at the stage of occlusion normalization in patients with TMJ dysfunction.

Keywords: temporomandibular joint, orthosis, occlusion disorders.

Гуревич Юрий Юрьевич

к.м.н., ФГБОУ ВО Алтайский Государственный
Медицинский Университет Минздрава России
ortstomagmi@ya.ru

Прохорова Валерия Олеговна

к.м.н., ФГБОУ ВО Алтайский Государственный
Медицинский Университет Минздрава России

Аннотация. В статье представлен клинический случай комплексной стоматологической реабилитации пациентки с болевой дисфункцией височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС), развившейся на фоне нарушений окклюзионных взаимоотношений и частичной адентии. На первом этапе терапии была проведена ортопедическая коррекция положения нижней челюсти с использованием индивидуального репозиционного ортеза, что привело к полному купированию болевого синдрома и нормализации положения суставных элементов, что подтверждено данными мультиспиральной компьютерной томографии. Представленные данные подтверждают высокую клиническую эффективность применения репозиционного ортеза на этапе нормализации окклюзии у пациентов с дисфункцией ВНЧС.

Ключевые слова: височно-нижнечелюстной сустав, ортез, окклюзионные нарушения.

Введение

Современные исследования, представленные в научной литературе, свидетельствуют о высокой клинической значимости и распространённости дисфункции височно-нижнечелюстных суставов (ВНЧС), что делает данную патологию одной из актуальных проблем ортопедической стоматологии. Нарушение функции ВНЧС может проявляться болевым синдромом, щелчками, ограничением амплитуды движений нижней челюсти, а также изменением окклюзионных контактов, что оказывает отрицательное влияние на качество жизни пациентов.

Одним из ключевых направлений терапевтического вмешательства при дисфункции ВНЧС является нормализация окклюзионных взаимоотношений, направленная на достижение стабильного функционального положения нижней челюсти. Для этой цели используются различные съёмные ортопедические конструкции, в том числе окклюзионные шины, каппы и ортезы. Выбор оптимальной лечебной методики, включая определение типа и конструкции протезирования, должен быть строго индивидуализирован и обоснован клинически, исходя из характера патологических изменений и степени выраженности симптомов [6].

Особое внимание в последние годы уделяется репозиционным ортезам — ортопедическим устройствам, способствующим перемещению нижней челюсти в терапевтически выгодное положение. Их применение позволяет не только стабилизировать окклюзионные контакты, но и создать условия для восстановления физиологических функций ВНЧС [5]. Клинический опыт показывает, что использование репозиционного ортеза является эффективным этапом в комплексной реабилитации пациентов с данной патологией, предшествующим ортодонтическому и окончательному ортопедическому лечению.

Настоящее исследование направлено на оценку клинической эффективности метода нормализации окклюзии посредством изготовления и применения репозиционного ортеза у пациентов с признаками дисфункции височно-нижнечелюстных суставов.

Цель исследования — исследование метода нормализации окклюзии, а именно: изготовление репозиционного ортеза.

Материал и методы

В нашей работе была обследована пациентка, с клиническим диагнозом — дисфункция височно-нижнечелюстных суставов.



Рис. 1. Вид зубных рядов верхней и нижней челюсти до лечения

Пациентке была проведена компьютерная томография до и после завершения ортопедического лечения. А также проведено комплексное обследование, включающее опрос, осмотр, определения центрального соотношения с помощью листового калибратора и Lucia джига, наложение лицевой дуги и изучение полученного окклюзионного взаимоотношения в артикуляторе, с последующим изготовлением репозиционного ортеза на 6 месяцев.

Результаты исследования

Анализ данных, полученных в ходе проведённого исследования, выявил, что у большинства обследованных пациентов с подозрением на дисфункцию височно-нижнечелюстных суставов (ВНЧС), фиксируются разнообразные отклонения в структуре и функции суставных компонентов. Эти нарушения достоверно подтверждаются как в процессе клинического обследования, включающего пальпацию, оценку движений нижней челюсти и определение окклюзионных контактов, так и при проведении мультиспиральной компьютерной томографии [3, 4].

Полученные результаты обусловили необходимость более детального изучения терапевтического потенциала методов, направленных на восстановление нормального пространственного соотношения внутрисуставных элементов. Особый интерес представляет анализ влияния ортопедической коррекции окклюзии на динамику симптоматики и морфофункциональное состояние ВНЧС у пациентов с установленной дисфункцией [1, 2].

С целью иллюстрации эффективности предложенного подхода в рамках клинического случая была рассмотрена пациентка М., 40 лет, обратившаяся за помощью в клинику ортопедической стоматологии. Основные жалобы пациентки включали ощущение щелчка в области правого височно-нижнечелюстного сустава, который ослабевал во время приёма пищи и сна, а также болевой синдром, усиливающийся при широком открывании рта. Дополнительно отмечалась болезненность в области околоушно-жевательных мышц справа, что указывало на возможное вовлечение в патологический процесс как суставных, так и мышечных компонентов (рис. 1, 2).

В анамнезе у пациентки отмечались жалобы на дискомфорт и неприятные ощущения в области околоуш-



Рис. 2. Вид сомкнутых зубных рядов справа и слева до лечения

ной зоны, сохраняющиеся на протяжении последних трёх лет. Указанные симптомы могут свидетельствовать о хроническом характере патологического процесса. При проведении клинического осмотра было выявлено нарушение траектории движения нижней челюсти: в завершающей фазе открывания рта, наблюдалось её девиация в левую сторону. Этот феномен мог быть признаком нарушения симметричности работы суставных головок или о функциональных изменениях в структурах мышечно-суставного аппарата.

При статической пальпации области ВНЧС определялась слабая болезненность. В то же время, при проведении функциональной пробы — сжатии зубных рядов — возникала выраженная болевая реакция в проекции левого ВНЧС, что дополнительно подтверждало вовлечённость сустава в патологический процесс.

Из сопутствующих клинических признаков было зафиксировано снижение межокклюзионной высоты на 3–4 мм, что могло быть результатом снижения высоты прикуса вследствие отсутствия или несостоятельности зубных конструкций.

Интраоральное обследование выявило следующие стоматологические особенности: наличие одиночной пластмассовой коронки на зубе 4.7, не отвечающей современным клинико-ортопедическим требованиям; несостоятельные пломбы в области зубов 4.6 и 3.6; врож-

дённая адентия в области зубов 4.5 и 3.5. Состояние слизистой оболочки языка расценено как удовлетворительное: бледно-розовый цвет, умеренное увлажнение, отсутствие признаков воспаления или иных патологических изменений.

С целью объективной оценки морфофункционального состояния ВНЧС пациентке было проведено мультиспиральное компьютерно-томографическое исследование (МСКТ) в положении закрытого рта с выполнением трёхмерной реконструкции черепа (см. рис. 3). По ре-

зультатам томографии были выявлены признаки сужения суставных щелей в переднем отделе как справа, так и слева, а также асимметрия в расположении суставных головок, что подтверждало наличие дисфункции и служило основанием для проведения ортопедической коррекции.

По результатам мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ), выполненной до начала терапевтического вмешательства, на сагиттальных срезах были выявлены характерные изменения в анатомо-функци-

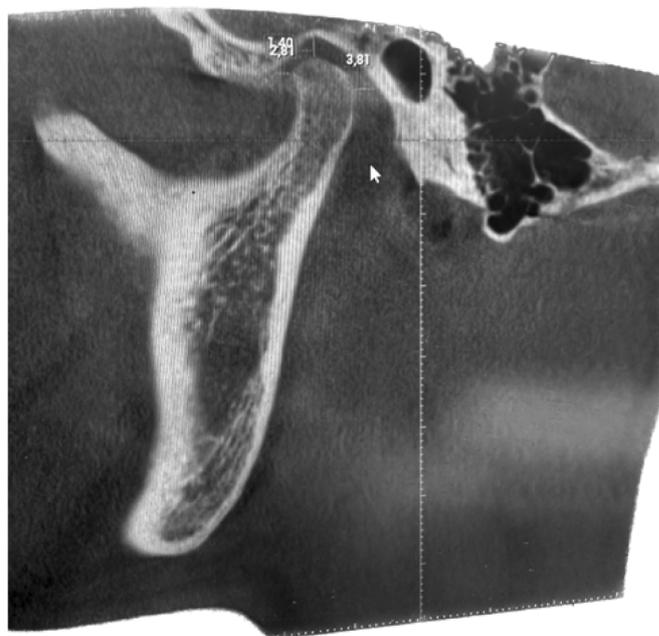
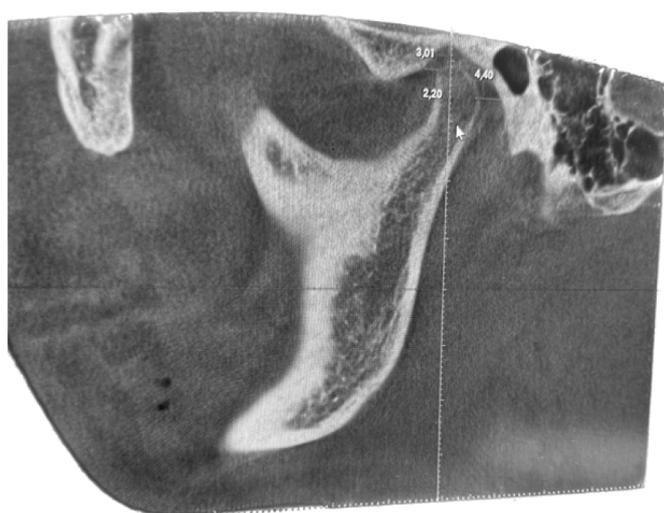


Рис. 3. МСКТ ВНЧС в положении закрытый рот до окклюзионной терапии.
 Левый ВНЧС: Передний этаж 2.20 Верхний этаж 3.01 Задний этаж 4.40.
 Правый ВНЧС: Передний этаж 1.40 Верхний этаж 2.81 Задний этаж 3.81



Рис. 4. Модели в артикуляторе в положении центрального соотношения



Рис. 5. Репозиционный ортез в полости рта у пациента

ональном состоянии височно-нижнечелюстных суставов. В частности, зарегистрировано сужение суставных щелей в переднем отделе суставов как с левой, так и с правой стороны, а также выявлено асимметричное расположение головок нижней челюсти в суставной ямке. Эти данные указывают на дестабилизацию суставного комплекса и служат объективным подтверждением клинически диагностированной дисфункции ВНЧС.

На основании клинического и лучевого обследования был установлен следующий диагноз: K07.6 — синдром болевой дисфункции ВНЧС, частичное отсутствие зубов на нижней челюсти III класс по Кеннеди, вынужденная патологическая окклюзия, нерациональные конструкции зубных протезов.

С целью нормализации пространственного положения нижней челюсти и достижения терапевтически выгодной окклюзии был реализован первый этап комплексного ортопедического лечения. Он включал в себя последовательное выполнение ряда диагностических и технических процедур: определение центрального соотношения челюстей с использованием листового калибратора и джиг-аппарата Lucia, фиксация лицевой дуги, а также последующее моделирование окклюзионных взаимоотношений в артикуляторе системы SAM (Германия). После установления целевого терапевтического положения нижней челюсти был изготовлен индивидуальный репозиционный ортез из прозрачной акриловой пластмассы, предназначенный для ношения на нижней челюсти (см. рисунки 4 и 5).

Уже через несколько суток после начала использования съёмного репозиционного ортеза пациентка отметила выраженную положительную динамику субъективного состояния. В частности, наблюдалось значительное снижение интенсивности болевого синдрома в правой околоушной области, а также полное исчезновение характерного щелчка при открывании рта, ранее сопровождавшего движения в височно-нижнечелюстном суставе. Эти изменения свидетельствуют о начальной стабилизации функционального состояния сустава и уменьшении выраженности его дисфункции.

Ортопедическое лечение с применением репозиционного ортеза продолжалось в течение шести месяцев. В течение всего этого периода проводились регулярные клинические осмотры и поэтапные коррекции устройства с целью его точной адаптации к динамически изменяющимся параметрам окклюзии и суставного положения.

К завершению этого этапа лечения пациентка сообщила об исчезновении всех субъективных симптомов: полностью отсутствовали болевые ощущения и щелчки в области ВНЧС. Объективное обследование подтвердило эти данные — при статической и динамической пальпации височно-нижнечелюстных суставов и жевательной мускулатуры не выявлялось болевой реакции, что указывает на стабилизацию суставного и мышечного компонентов.

В качестве второго этапа лечения запланировано проведение ортодонтической терапии с последующим рациональным ортопедическим восстановлением жевательной эффективности в области зубов 3.6, 4.6 и 4.7. Контрольное мультиспиральное компьютерно-томографическое исследование ВНЧС, выполненное после завершения ортопедического этапа, показало симметричное и физиологически корректное расположение суставных головок слева и справа, что подтверждает эффективность проведённой терапии (см. рисунок 6).

Обсуждение

Результаты клинического наблюдения демонстрируют важность междисциплинарного подхода при лечении дисфункции височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС), обусловленной нарушением окклюзионных взаимоотношений и частичной адентией. Дисфункция ВНЧС, как известно, является многофакторной патологией, в развитии которой участвуют как анатомо-физиологические, так и биомеханические, нейромышечные и психоэмоциональные компоненты [3, 4, 11].

В данном случае ключевым элементом успешного лечения стало точное определение центрального соотношения



Рис. 6. МСКТ ВНЧС в положении закрытый рот после окклюзионной терапии.
 Правый ВНЧС Передний этаж 2.80 Верхний этаж 2.80 Задний этаж 3.61
 Левый ВНЧС: Передний этаж 2.61 Верхний этаж 2.80 Задний этаж 3.40

ношения челюстей и моделирование терапевтически выгодного положения нижней челюсти с последующим изготовлением индивидуального репозиционного ортеза. Данный подход позволил устранить патологическую нагрузку на суставной аппарат и обеспечить условия для его функциональной разгрузки и восстановления. Подобная методика соответствует современным представлениям о физиологически обоснованной реабилитации пациентов с функциональными нарушениями ВНЧС [1, 2, 6].

Надо отметить, что устранение болевого синдрома и щелчков в суставе, а также нормализация положения суставных головок, достигнутые на первом этапе терапии, свидетельствуют о высокой эффективности ортопедического компонента лечения. Вместе с тем, как показал анализ окклюзионного статуса, стабильный и долговременный результат может быть достигнут лишь при условии завершения лечения с применением ортодонтической коррекции и рационального протезирования, что согласуется с данными литературы [5, 7].

Таким образом, данный клинический случай подтверждает, что использование репозиционного ортеза в рамках первого этапа реабилитации позволяет эффективно купировать основные симптомы дисфункции ВНЧС, создать благоприятные условия для последующего ортодонтического и ортопедического вмешательства,

а также способствует восстановлению окклюзионного баланса и улучшению качества жизни пациента.

Заключение

Результаты проведенного ортопедического вмешательства продемонстрировали высокую клиническую эффективность в восстановлении функционального состояния височно-нижнечелюстного сустава. Применение индивидуально изготовленного репозиционного ортеза обеспечило устранение болевых ощущений в правом ВНЧС и привело к стабилизации положения суставных головок, что подтверждено данными контрольной мультиспиральной компьютерной томографии.

Таким образом, первый этап комплексного лечения — ортопедическая коррекция окклюзионных взаимоотношений — может считаться успешно завершённым. В целях достижения стойкого терапевтического результата и окончательной реабилитации пациентки было запланировано продолжение лечения у врача-ортодонта, включающее проведение ортодонтической подготовки. Завершающим этапом станет рациональное ортопедическое протезирование, направленное на восстановление анатомо-функциональной целостности зубочелюстной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бучнева В.О., Гуревич Ю.Ю., Орешака О.В., Швец М.В. Обновлённые данные об эффективности лечебно-профилактических мероприятий при возникновении повышенной стираемости твёрдых тканей зубов и её осложнений у молодых людей, занимающихся атлетической гимнастикой // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2023. № 2. С. 166–169.
2. Доусон П.Е. Функциональная окклюзия. От височно-нижнечелюстного сустава до планирования улыбки / П.Е. Доусон // Москва: Практическая медицина, 2016. — 592 с. Федотова Ю.М., Костюкова Ю.И. Эффективность применения анкерных стекловолоконных штифтов // статья в журнале — научная статья, 2017 г.
3. Жулев, Е.Н. Влияние уровня психоэмоционального напряжения на клинические проявления мышечно-суставной дисфункции височно-нижнечелюстного сустава у лиц молодого возраста / Е.Н. Жулев, И.В. Вельмакина, К.С. Тюрина // Современные проблемы науки и образования. — 2018. — № 1. — С. 1–9.

4. Исайкин, А.И. Дисфункция височно-нижнечелюстного сустава / А.И. Исайкин, Д.С. Смирнова // Русский медицинский журнал. — 2017. — № 24 — С. 1750–1755.
5. Климова, Т.В. Классификация причин нарушения движения нижней челюсти / Т.В. Климова, Н.В. Набиев, Т.А. Иваненко [и др.] // Ортодонтия. — 2019. — Т. 86. — № 2. — С. 4–10.
6. Комолов, И.С. Магнитно-резонансная томография в оценке влияния смещений суставного диска на формирование болевого синдрома при дисфункции височно-нижнечелюстного сустава / И.С. Комолов, А.Ю. Васильев // Радиология — практика. — 2018. — Т. 68. — № 2. — С. 20–27.
7. Лола, Д.В. Повышение функциональной эффективности полных съемных протезов на основе принципов математического моделирования / Д.В. Лола, Е.А. Брагин, Ю.Н. Майборода // Кубанский научный медицинский вестник. — 2016. — Т. 158. — № 3. — С. 74–79.
8. Мишутин, Е.А. Методика аудиодиагностики у больных с внутренними нарушениями в височно-нижнечелюстном суставе и анализ данных с использованием разработанной компьютерной программы / Е.А. Мишутин, К.П. Коршунова, П.Н. Гелетин, В.Г. Морозов // Институт стоматологии. — 2016. — № 1. — С. 42–43.
9. Ронкин, К. Отдаленные результаты эстетической реконструкции зубных рядов в нейропромышленной физиологической окклюзии с 148 использованием электромиографии одновременно с компьютерным сканированием движений нижней челюсти при регистрации физиологической окклюзии // Современная стоматология. — 2016. — № 1 (4). — С. 15–32.
10. Сорокина, Н.Д. Оценка физиологических параметров тригеминальной и кохлеовестибулярной систем при болевой дисфункции височно-нижнечелюстного сустава / Н.Д. Сорокина, Л.Р. Шахалиева, С.С. Перцов [и др.] / Вестник Уральской медицинской академической науки. — 2020. — Т. 17. — № 2. — С. 110–120.
11. Тардов, М.В. Синдром Костена, или дисфункция височнонижнечелюстного сустава / М.В.Тардов, А. В. Болдин // Трудный пациент. — 2018. — Т. 16. — № 10. — С. 43–46.
12. Шахалиева, Л.Р. Междисциплинарные аспекты в изучении дисфункции ВНЧС / Л.Р.Шахалиева, Н.Д. Сорокина, Л.В. Польша // Ортодонтия. — 2024. — № 1 (105). — С. 2–9.

© Гуревич Юрий Юрьевич (ortstomagmu@ya.ru); Прохорова Валерия Олеговна
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ИМПЛАНТИРУЕМЫХ ПОРТ-СИСТЕМ, УСТАНОВЛЕННЫХ ПОД УЛЬТРАЗВУКОВОЙ И РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИЕЙ

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS AND SAFETY OF IMPLANTABLE PORT SYSTEMS INSTALLED UNDER ULTRASOUND AND RADIOGRAPHIC NAVIGATION

A. Zagorulko
G. Nistratov
A. Golubcov
D. Kozlov
A. Koledinskiy
S. Rykov

Summary. Introduction. Treatment of oncological diseases requires the use of many drugs. In modern oncological practice, long-term infusions of chemotherapy drugs are carried out through implantable venous systems. In order to describe the technical features, indications and possible complications, an analysis of 2510 patients who underwent implantation of a venous port system was performed.

Objective. To evaluate the technique of implantation of port systems, as well as possible complications.

Material and methods. An analysis of 2510 patients with malignant neoplasms who underwent implantation of subcutaneous port systems from January 2022 to August 2024 was performed.

Results. A significant proportion of patients requiring long-term treatment and port systems are patients with gastrointestinal tumors — 55.06 %. In all examined patients, 100 % of cases involved the vein puncture method, ultrasound navigation and intraoperative X-ray control of the catheter position. Access through the left subclavian vein was absent, right subclavian access was noted in 72 cases (2.9 %), right internal jugular access 2217 (88.3 %), left internal jugular in 221 cases (8.8 %). Complications were detected in 188 patients (7.5 %), including early — 49 (2 %) and late — 139 (5.5 %). Port system removal was required in 214 (8.5 %) patients, where the main reasons were infection (port system chambers), end of treatment, port system thrombosis and/or catheter-associated thrombosis, severe pain syndrome (VAS scale 4–6 points), etc.

Conclusion. The effectiveness of subcutaneous port systems, the main causes of complications and methods for their elimination were demonstrated in a large sample of patients. In general, the port system is safe and convenient for long-term intravenous treatment.

Keywords: central vein, angiographic apparatus, port.

Загорулько Алексей Иванович

кандидат медицинских наук, заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения №2 филиала «Онкоцентр №1 ГКБ имени С.С. Юдина ДЗ Москвы», врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», Москва
alexrus80@yandex.ru

Нистратов Григорий Павлович

кандидат медицинских наук, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению, отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения №2 филиала «Онкоцентр №1 ГКБ имени С. С. Юдина ДЗ Москвы»
hyppokrat-g@mail.ru.

Голубцов Андрей Константинович

доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением опухолей головы и шеи, ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского», Москва
andgol09@yandex.ru

Козлов Денис Владимирович

кандидат медицинских наук, врач сердечно-сосудистый хирург, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Городская клиническая им. Ф.И. Иноземцева» ДЗ города Москвы
kozlovden@mail.ru

Колединский Антон Геннадьевич

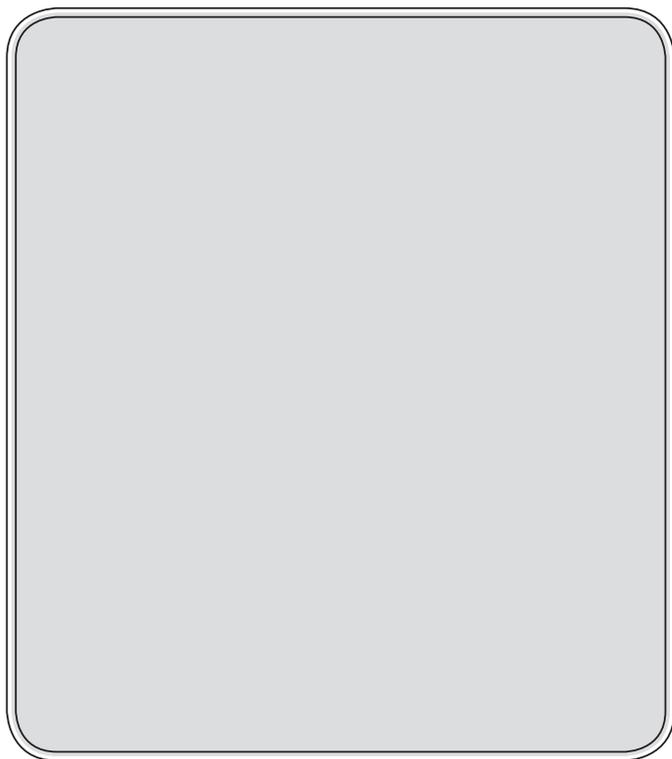
д.м.н., ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», Москва
koledant@mail.ru.

Рыков Станислав Павлович

врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению, отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения №2 филиала «Онкоцентр №1 ГКБ имени С. С. Юдина ДЗ Москвы»
stanislav.rukov@yandex.ru

Аннотация. Введение. Лечение онкологических заболеваний требует применения множества лекарственных препаратов. В современной онкологической практике длительные инфузии химиопрепаратов проводятся через имплантируемые венозные системы. С целью описания технических особенностей, показаний и возможных осложнений проведен анализ 2510 пациентов которым была выполнена имплантация венозной порт системы.

Цель. Оценить методику имплантации порт-систем, а также возможные осложнения.



Список сокращений

ВАШ — визуально-аналоговая шкала;

ВЯВ — внутренняя яремная вена;

ОГШ — опухоли головы и шеи;

ЗНО — злокачественные новообразования.

Введение

Современным стандартом лечения злокачественных онкологических новообразований является комбинация химиотерапевтических препаратов. Эти лекарства назначаются в строго определённом порядке, и в большинстве случаев требуют парентерального введения, продолжительность которого может колебаться от 15 минут до 24–72 часов. В 65–70 % первичный рак диагностируется на распространённой стадии, лечение обычно длительное и интенсивное.

Основным способом введения химиопрепаратов при лечении злокачественных новообразований является внутривенный, однако этот способ имеет существенные осложнения, такие как тромбофлебит поверхностных вен, облитерация вен после многократных катетеризаций и некроз тканей в случае попадания лекарств вне вены, что обусловлено маленьким диаметром вен и медленной циркуляцией крови. Кроме того, в процессе химиотерапии необходимо частое проведение забора венозной крови для контроля уровня токсичности и мониторинга состояния пациента, а также для внутривенных инфузий поддерживающих средств. В 1988 году

Материал и методы. Проведён анализ 2510 пациентов со злокачественными новообразованиями, которым с января 2022 по август 2024 года выполнена имплантация подкожных порт-систем.

Результаты. Значительная часть больных, нуждающихся в длительном лечении и порт-системах это пациенты с опухолями желудочно-кишечного тракта — 55,06 %. У всех исследованных пациентов в 100 % случаев применялся пункционный метод вены, ультразвуковая навигация и рентгенографический интраоперационный контроль положения катетера. Доступ через левую подключичную вену отсутствовал, правый подключичный доступ отмечен в 72 случаях (2,9 %), правый внутренний яремный доступ 2217 (88,3 %), левый внутренний яремный в 221 случае (8,8 %). Осложнения были выявлены у 188 пациентов (7,5 %), среди которых ранние — 49 (2 %) и поздние — 139 (5,5 %). Удаления порт-системы потребовалось 214 (8,5 %) пациентам, где основными причинами были инфекция (камеры порт-системы), окончание лечения, тромбоз порт-системы и/или катетер-ассоциированный тромбоз, сильный болевой синдром (по шкале ВАШ 4–6 баллов), и т.д.

Заключение. На большой выборке пациентов была показана результативность применения подкожных порт-систем, основные причины осложнений и методы их устранения. В целом порт-система безопасна и удобна для длительного внутривенного лечения.

Ключевые слова: центральная вена, ангиографический аппарат, порт-система.

доктор Роберт Вудберн в США изобрел систему венозного порта, которую он запатентовал в 1989 году [1]. Порт-система представляет собой небольшую камеру с силиконовой мембраной сверху, сквозь которую проводится пункция с использованием иглы Губера для введения препаратов [2]. Игла Губера была изобретена в 1946 году американским стоматологом Ральфом Губером для уменьшения болевых ощущений при пункции сосудов. Благодаря особенной форме острия иглы Губера, мембрана порта не разрезается, а раздвигается, и после извлечения иглы в мембране не остаётся туннеля, что позволяет использовать порт длительное время.

Все компоненты порт-системы устанавливаются под кожу, где камера располагается в подкожно-жировой клетчатке на передней грудной стенке и соединяется с катетером, дистальный конец которого располагается в верхней полой вене ближе к правому предсердию для того, чтобы значительный поток крови, проходящий через него, мгновенно разбавлял вводимые лекарства, исключая возможность повреждения эндотелия сосуда. Порт-система позволяет вводить любые внутривенные лекарства, выполнять забор крови, обеспечивать парентеральное питание и вводить контрастные вещества во время исследований КТ (компьютерная томография) и МРТ (магнитно-резонансная томография).

Имплантация порт-систем выполняется в рентгенографической операционной с УЗ-контролем под местной анестезией [3]. Во время проведения операции

необходим мониторинг витальных показателей пациента — ЭКГ, пульсоксиметрия, артериальное давление и частота сердечных сокращений.

Большинство противопоказаний являются относительными, включая аномальную анатомию венозной системы, нарушение свертываемости крови, тромбоцитопению и необходимость гемодиализа. В случае тромбоцитопении, ввиду ее относительного противопоказания, необходимо сначала провести переливание массы тромбоцитов, а после стабилизации состояния можно приступить к установке порт-системы. Необходимость в гемодиализе является относительным противопоказанием, так как доступ через подключичную вену может уменьшить скорость кровотока. При выборе места центрального венозного доступа необходимо взвесить все риски и преимущества.

Материал и методы

В ретроспективное исследование были включены пациенты, находившиеся в Онкологическом центре № 1 ГКБ имени С. С. Юдина г. Москва (Загородное ш.) которым в период с января 2022 по август 2024 года были выполнены операции по имплантации или эксплантации порт-систем. Всего в исследование включено 2510 пациентов.

В этот период в клинике применялся один вид порт-систем размерами 6,5F или 8,5F. Данные венозные порт-

системы могут использоваться для проведения химио- и антибиотикотерапии, а также для парентерального питания. Катетер не содержит латекс, ПВХ, ДЭГФ. Материал ванночки представлен титановой камерой в пластиковом корпусе, весом 9 г. Остаточный объем камеры 0,5 мл. Силиконовая мембрана для безопасной и надёжной пункции выдерживает от 2000 до 3000 вколов, при условии использования исключительно иглы Губера. Пластиковый корпус имеет 3 отверстия для фиксации порта к фасции при помощи нити. В набор входит силиконовый катетер с атравматичным кончиком и разметкой от 5 см. и рентгеноконтрастное соединительное кольцо для надёжной фиксации катетера к порту и защиты от перегибания катетера.

Операционная техника

Для определения места пункции использовался линейный датчик ультразвукового аппарата. После местной анестезии проводилась пункция целевой вены. Использовались подключичные или внутренние яремные вены (ВЯВ). На рисунке 2 под цифрой 1 обозначена внутренняя яремная вена и при одинаковом аппаратном увеличении диаметр разный на симке А и В, это может быть связано с обезвоживанием пациента. При таком малом диаметре можно попросить больного вдохнуть и задержать дыхание для облегчения пункции.

Под цифрой 2 обозначена общая сонная артерия. Она располагается позади или сбоку от яремной вены,

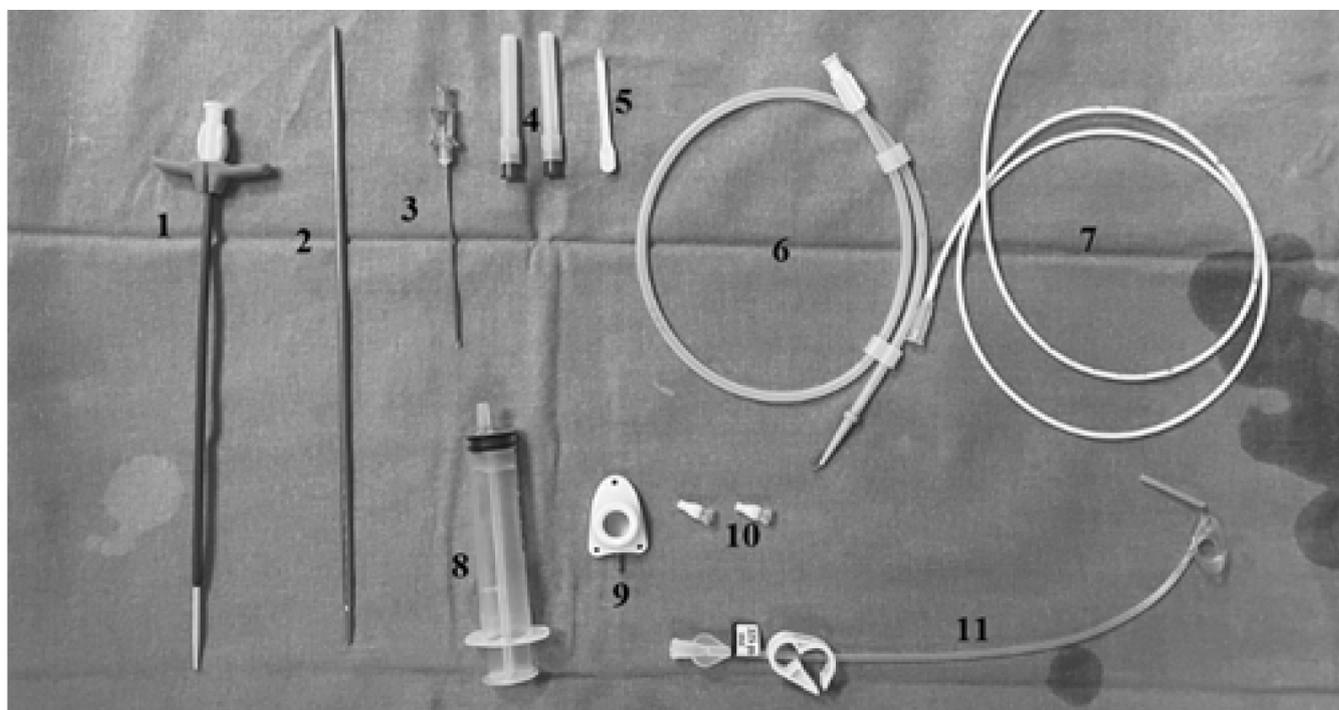


Рис. 1. (фото из личного архива). Набор для имплантации порт-системы. 1 — интродьюссер в сборе с бужом; 2 — туннеллятор; 3 — пункционная игла; 4 — две иглы для заполнения камеры порта и катетера; 5 — держалка для муфты; 6 — плетённый проводник с С кончиком; 7 — катетер; 8 — шприц; 9 — камера порт-системы; 10 — две муфты крепления катетера; 11 — игла Губера с катетером

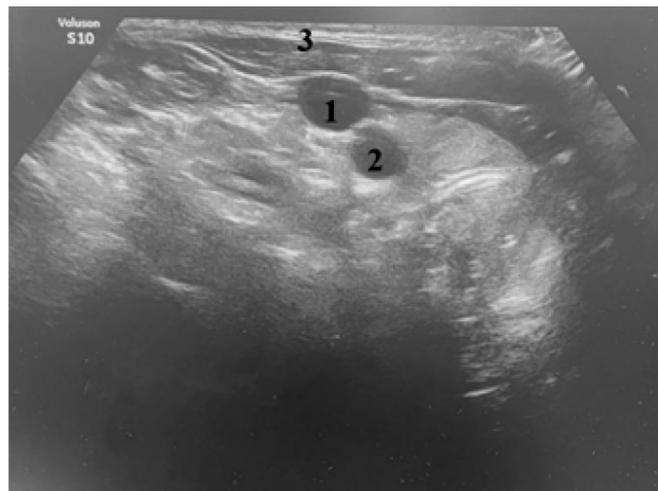
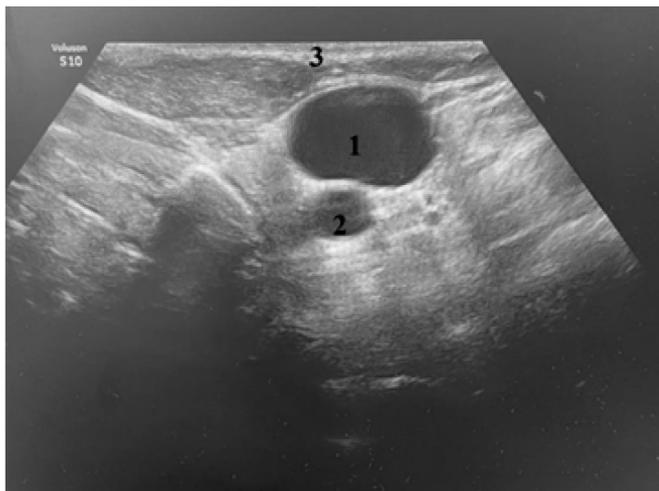


Рис. 2. а, б (фото из личного архива). Ультразвуковое ангиосканирование сосудов шеи.
1 — внутренняя яремная вена; 2 — общая сонная артерия; 3 — фасция шеи

хорошо пульсирует. Под цифрой 3 визуализируется дифференцировка на слои — это фасция шеи или плетизма.

Все катетеры вводились одной и той же хирургической бригадой в операционной. Всем пациентам обеспечивался непрерывный мониторинг с использованием пульсоксиметрии, электрокардиографии и неинвазивного измерения артериального давления.

Все пункции выполняются по методике Сельдингера, а именно через иглу проводится плетеный проводник и по нему уже заводится разрывной интродьюссер. Через интродьюссер вводится катетер и накладывается на проксимальный край зажим типа москит, для того чтобы не было поступления воздуха. Следующим этапом мы приступаем к формированию подкожного кармана. Он выполняется посредством кожного разреза на 2 см ниже параллельно ключице. Ширина разреза зависит от диаметра камеры порт-системы. Формировать карман можно двумя способами — коагулятором и куперовскими ножницами, параллельно осуществляя гемостаз в ране. Туннельатором мы проводим катетер под кожей одеваем фиксирующую муфту и соединяем с камерой порта. В этой области соединения довольно прочные и крайне редко возникает экстравазация. Фиксируем камеру порта за специальные отверстия к фасции не рассасывающейся нитью. По краю фиксирующей муфты есть технологическая выемка для фиксации проводника ниткой. Укрываем двурядным швом подкожную клетчатку и накладываем швы на кожу.

Под рентренографическим контролем мы отмеряем и отсекаем лишние сантиметры катетера перед его соединением с камерой порта. Укладываем камеру в заранее подготовленное ложе (рисунок 3).

После имплантации порт-системы мы выполняем ангиографический контроль камеры и расположения



Рис. 3. (фото из личного архива).

1 — ключица. 2 — разрез кожи по отношению к правой ключице. 3 — подкожное расположение порт-системы

катетера в верхней полой вене, вводим контрастное вещество для подтверждения проходимости и герметичности всей системы. В результате таких манипуляций в отделении ангиографии, в дальнейшем отсутствует необходимость дополнительного контроля рентгенографии или выполнения компьютерной томографии после операции.

Показатели осложнений можно снизить, используя хорошо разработанную процедуру, опытных сосудистых

хирургов, асептическую среду, пункцию под контролем УЗИ и флюороскопию с контрастным веществом. Конечно, даже после хорошо выполненной имплантации порт-системы необходим адекватный и грамотный уход, чтобы избежать осложнений, которые по данным некоторых авторов регистрируются в 27 % случаев. По мнению ряда авторов, у пациентов с гематологическими злокачественными новообразованиями с тромбоцитопенией, отмечался более высокий риск инфицирования и раннего удаления катетера после имплантации порта. Медианная выживаемость пациентов не зависит от осложнений, связанных с имплантацией порт-системы.

Не существует общепринятого определения идеального положения кончика катетера. Однако утверждается, что кончик катетера порт-системы наиболее идеально располагается в дистальной части верхней полой вены (ВПВ). Большой объем крови в вене широкого калибра немедленно разбавляет вводимое лекарство и снижает риск повреждения сосудов. Это особенно важно для химиотерапевтических препаратов, которые вводятся в растворах с высокой осмоляльностью. Известно, что они повреждают сосудистую стенку с последующими возможными осложнениями, такими как инфекция или венозный тромбоз — следовательно, неоптимальное положение кончика катетера может привести к отсроченным осложнениям.

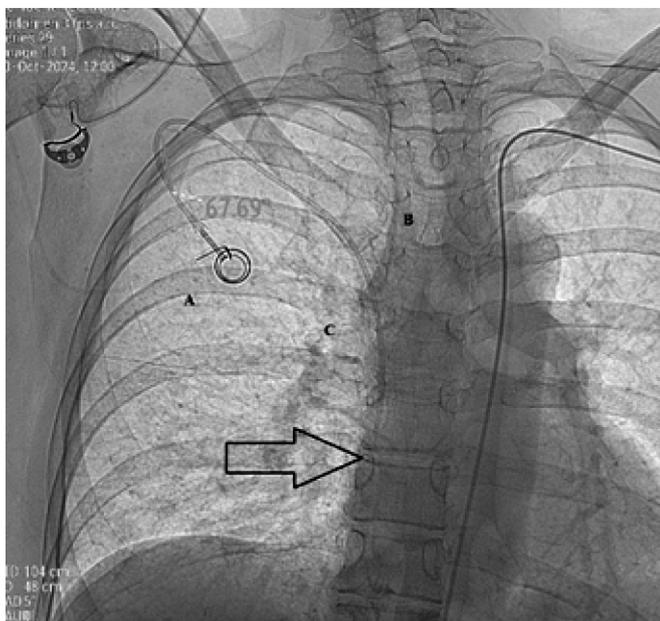


Рис. 4. (фото из личного архива).
Правильное расположение порт-системы

Интродьюсер (разрывной) и катетер вводились по проводнику. Линейным разрезом в подключичной области выполнялся подкожный карман и имплантировалась сама порт-камера. Проводилась фиксация камеры к подлежащим тканям и послойное зашивание раны. Локально прикладывали пузырь со льдом на 15–20 минут.

Расположение дистального края катетера ориентировались по рентгеноскопии, а герметичность всей системы проверяли рентгенографически с введением контрастного вещества.

В завершении операции вводили 5000ЕД Гепарина разведенного на 10,0 физиологического раствора в камеру порта с заполнением катетера, так называемый «гепариновый замок».

Результаты

В этом исследовании были проанализированы результаты проведения хирургических операций у 2510 пациентов (в том числе 1309 мужчин и 1201 женщина), а также определение у них некоторых видов осложнений. Надо отметить, что большинство пациентов после имплантации в этот же день получали полный курс химиотерапии, что возможно оказывало на заживление раны негативный характер.

Таблица 1.

Показания для имплантации порт-системы с целью проведения длительных курсов химиотерапии

Тип опухоли	МКБ 10	кол-во	%
Опухоли ОГШ	C00-14	390	15,55
Рак пищевода	C15-15.9	37	1,47
Рак желудка	C16.0-16.9	399	15,9
Рак кишечника (тонкая, толст)	C17-18.9	576	22,95
Рак прямой кишки	C19-21.8	407	16,21
Рак печени	C22-24.9	21	0,84
Рак поджелудочной железы	C25-25.9	180	7,17
ЗНО органов дыхания	C30-39.9	106	4,22
ЗНО костей	C40-41.9	1	0,04
ЗНО кожи	C43-44.3	3	0,12
Рак молочной железы	C50-50.9	217	8,64
ЗНО женских половых органов	C51-58	88	3,50
ЗНО мужских половых органов	C60-63.9	11	0,44
ЗНО мочеполовой системы	C64-68.9	22	0,88
Прочее	C70-97	52	2,07
Всего		2510	100

Показания для выполнения длительной инфузионной терапии охватывают большой спектр онкологических диагнозов и в связи с этим данным больным была рекомендована имплантация подкожных порт-систем. Из представленной таблицы видно, что значительная

часть пациентов, нуждающихся в цикловом лечении, были с опухолями желудочно-кишечного тракта. На их долю пришлось 55,06 % от всех выполненных манипуляций. Более 15,5 % требовалось больным с заболеванием опухолей головы и шеи (ОГШ). Приблизительно одинаково встречались опухоли поджелудочной железы и опухоли молочной железы, 7,17 % и 8,64 % соответственно.

Таблица 2.

Демографические и анатомические характеристики пациентов

	кол-во	%	среднее	диапазон
Возраст, лет			62,8±4,3	26–90
Пол				
Мужской	1309	52,2		
Женский	1201	47,8		
Средняя продолжительность операции, мин			35,4±5,7	12–110
Правая подключичная вена	72	2,9		
Левая подключичная вена	0	0		
Правая внутренняя яремная вена	2217	88,3		
Левая внутренняя яремная вена	221	8,8		
Кол-во доступов	2510	100		

Средний возраст участников составил 62,8±4,3 лет, в диапазоне от 26 до 90 лет. Средняя продолжительность операции составила 35,4±5,7 мин, в интервале от 12 до 110 минут. Примечательно, что доступ через левую подключичную вену нами не выявлен ни в одном протоколе операции. Использование правого подключичного доступа отмечено в 72 случаях (2,9 %). Наиболее часто применялся правый внутренний яремный доступ 2217 (88,3 %), так как имеет анатомическое расположение. Левая внутренняя яремная вена использовалась в 221 случаях (8,8 %).

В таблице 3 мы проанализировали потребности порт-систем у разных возрастных групп, что напрямую коррелирует с наличием онкологического процесса. Так, например, большинство больных составляли диапазон возраста от 61 до 70 лет — 848 (33,8 %), от 71 до 80 лет — 606 (24,1 %). Наименьшая возрастная группа — 26–30 лет, что составили 14 (0,6 %) случаев.

У 188 (7,5 %) пациентов были зафиксированы осложнения, таблица 4. Условно их можно разделить на интраоперационные, возникающие до имплантации порт-системы, и на осложнения после установки венозного

Таблица 3.

Распределение по возрасту (по декадам)

Потребность порт-систем (диапазон возраста по декадам)	Кол-во	%
26–30	14	0,6
31–40	79	3,1
41–50	309	12,3
51–60	571	22,8
61–70	848	33,8
71–80	606	24,1
80+	83	3,3
Всего	2510	100

Таблица 4.

Осложнения в раннем и позднем послеоперационном периоде

Возможные осложнения	кол-во	%
Ранние осложнения	49	1,95
пункция артерии	10	0,4
пневмоторакс	7	0,3
гематома ложа камеры порт-системы	23	0,9
инфицирование	9	0,4
Поздние осложнения	139	5,5
пролежень кожных покровов	35	1,4
инфицирование	29	1,15
тромбоз вен	45	2,1
неправильное расположение катетера	8	0,3
окклюзия катетера	19	0,7
«перекрут» камеры порт-системы в подкожном кармане	3	0,1
Всего	2510/188	100/7,5

порта, которые в свою очередь разделяются на ранние (<30 дней) и поздние (>30 дней) [4]. Во время операции у 10 (0,4 %) пациентов были случаи пункции артерии, которые устранялись немедленным извлечением пункционной иглы и дальнейшей мануальной компрессией, у 7 (0,3 %) пациентов возник пневмоторакс — 4-м из них было выполнено дренирование плевральной полости, а остальные 3 пациента получили консервативное лечение. Здесь надо отметить, что пневмоторакс возник у больных, где использовался исключительно подключичный доступ. После установки порта у 23 пациентов

наблюдалась гематома ложа порт-системы, позже выяснилось, что большинство из них не отменили антикоагулянтные препараты. При возникновении данных симптомов применяют холод и гемостатические препараты. Если гематома случилась в ранние послеоперационные часы, то лучше выполнить санацию раны. Катетер-ассоциированная инфекция наблюдалась у 9 пациентов, сначала был взят посев на чувствительность к антибиотикам, затем была эмпирически назначена антибиотикотерапия.

Среди поздних осложнений чаще всего встречались пролежни у 35 (1,4 %) пациентов, инфицирование порт-системы отмечено у 29 (1,1 %) пациентов, тромбоз вен наблюдался у 45 (2 %) пациентов, а окклюзия артерии у 19 (0,7 %) пациентов. В случае возникновения пролежней кожи у 32 пациентов все порт-системы были удалены и реимплантированы контрлатерально. Причинами тромбоза вен стал как венозный катетер (из-за пропуска его промывки после проведения химиотерапии), так и состояние самого пациента. При наличии клинических симптомов рекомендовано применение антикоагулянтов, включая низкомолекулярные гепарины, с последующим назначением ПОАК (пероральные антикоагулянты) на срок не менее 3 месяцев. Если катетер и порт-система не инфицированы, остаются в рабочем состоянии и их необходимость сохраняется, то удалять их не следует. При проведении контрольной рентгеноскопии (больше 30 дней) у 8 пациентов было выявлено неудовлетворительное положение катетера, в данном случае все порт-системы удалены и переустановлены в ангиографической операционной. У 3 (0,1 %) пациентов обнаружили перевёрнутое положение камеры порта, что было исправлено путём проведения ревизии и восстановления её положения в подкожном кармане путём фиксации.

Частота удаления порта составила 214/2510 (8,5 %), причинами были инфекция, окончание лечения, боль, тромбоз и т.д. (табл. 5). По всем этим причинам порты

подлежали удалению и реимплантации с конверсией доступа или при невозможности — использование временно периферического доступа.

Обсуждение

Многочисленные пункции периферических вен для химиотерапии и забора крови становятся большой проблемой для пациента, родственников и медицинского персонала. Для решения этой задачи введена в клиническую практику полностью имплантированная подкожно порт-система. Порт-система — это медицинское оборудование, которое включает в себя катетер, и камеру для чрескожных инъекций. Преимущества очевидны — лёгкость и безопасность введения лекарств, низкая частота инфицирования, незаметность и отсутствие необходимости в специальной защите в повседневной жизни. Недостатки: психологический стресс от имплантации, необходимость технического обслуживания (необходимость промывать в определенные сроки) риски при поломке или неправильном использовании.

Системы длительного центрального венозного доступа показали целесообразность их использования у онкологических больных в различных клинических ситуациях [5]. В нашей клинике имплантация порт-систем значительно увеличилась за последние 5–6 лет.

В ретроспективном анализе Wang Y.C. и соавторов было показано 235 случаев имплантированных портов, где средний возраст пациентов составил 58,2 лет, 62 % были женщины. Чаще всего встречались диагнозы рака лёгких, молочной железы и колоректального рака. Использование ВЯВ в 159 случаях (67,7 %), а правая сторона была применима в 140 случаях (59,6 %) [5]. В нашем исследовании средний возраст на 2510 участников составил 62,8 года, более половины были мужчины 52,2 %. Часто встречающиеся диагнозы — опухоли желудочно-кишечного тракта, на их долю пришлось 55,06 %, 15,5 % составили ОГШ. Приблизительно одинаково встречались опухоли поджелудочной железы и опухоли молочной железы, 7,17% и 8,64 % соответственно. Правая ВЯВ использовалась в 2217 (88,3 %) случаях.

В процессе имплантации или использования порт-систем могут возникнуть различные осложнения, которые характеризуются как ранние или поздние [3,4,5]. Поздние условно можно разделить на два типа — связанные с катетером или с камерой [7]. В нашем исследовании осложнения были выявлены у 188 пациентов (7,5 %), среди которых ранние — 49 (2 %) и 139 (5,5 %) поздние. Мы успешно справились со всеми осложнениями. У нас не встречалось ни одного пациента с гемотораксом, миграцией катетера или разрывом мембраны камеры в качестве позднего осложнения. Наиболее грозным осложнением является бактериальная инфекция камеры порта

Таблица 5.

Параметры эксплантации порт-систем

Причины удаления порт-системы	кол-во	%
Инфицирование камеры и катетера	71	33,1
Окончание лечения	56	26,2
Болевой синдром	4	1,9
Тромбоз камеры, катетера, вены	64	29,9
Косметические проблемы	3	1,4
Прочее (не аспирировалась кровь, не вводилась жидкость в катетер и т.д)	16	7,5
Всего	214	100

и катетера [8]. Соблюдение мер асептики и антисептики является обязательным не только в момент имплантации, но и в период эксплуатации устройства. В нашем исследовании этот показатель явился причиной удаления у 71 больного (33,1 %). Так в исследовании, проведенном в Венгрии с участием 178 медицинских сестер знания об инфекциях были не достаточными и говорилось о высокой частоте инфекций связанных с введением лекарственных препаратов.

В исследовании Johnson E. и соавторы включено 2154 пациента которым имплантировали порт-систему, из них 360 (16,7 %) получали антибиотикопрофилактику, в то время как 1794 (83,3) не получали. Авторы выявили 27 инфекционных процесса (1,25 %), 5 из них произошли в группе антибиотикопрофилактики и 22 в группе без профилактики. В итоге пришли к выводу, что нет значительной разницы в частоте инфицирования устройства в зависимости от антибиотикопрофилактики [9]. В нашем исследовании все пациенты (2510) на момент имплантации не получали плановую антибиотикопрофилактику.

В литературе есть данные о 6-ти дневном интервале между имплантацией и использованием порт-систем, для снижения частоты удаления. Агрессивные схемы химиотерапии сопряжены со средним и высоким риском нейтропении, что в свою очередь ведёт к более высокой частоте удаления порта [10]. Наши пациенты получают оперативное лечение и химиотерапию в одну госпитализацию это обусловлено медико-экономическими стандартами в системе ОМС, хотя амбулаторным пациентам мы рекомендуем пользоваться порт-системами после снятия швов т.е. через 7–10 дней. Мы провели ретроспективное одноцентровое исследование, включавшее 2510 пациентов с порт-системами. Общая частота осложнений составила 7,5 %, что значительно ниже, чем сообщали Narducci F и др. (16,1 %) [11], Zhou J и др. (13,2 %) [12], и Hoareau-Gruchet F. и др. (7,4 %) [13]. Этот результат свидетельствует о том, что даже немедленное использование порт-систем после имплантации не увеличивает частоту осложнений, что делает его безопасным для

долгосрочного использования. Связь между временем первого введения химиотерапии после установки порта и осложнениями также изучалась в нескольких исследованиях. По словам Narducci F. интервал не менее 8 дней может быть целесообразным для снижения осложнений. Авторы сообщили, что частота осложнений составила 24,4 %, когда интервал составлял 0–3 дня, 17,1 %, когда он составлял 4–7 дней, и 12,1 %, когда он превышал 7 дней. В основном они использовали наружную яремную вену или подключичную вену для катетеризации с помощью техники *cutdown*. Однако в нашем исследовании мы катетеризовали внутреннюю яремную вену, используя модифицированную технику Сельдингера под контролем ультразвукографии, поскольку менее инвазивные методы могут улучшить заживление ран. Подобно нашим результатам, исследование Ozdemir NY и соавторов [14] сообщили, что назначение химиотерапии после имплантации порт-систем безопасно в стационарных условиях. В их исследовании приняли участие 180 пациентов, которым была начата химиотерапия в день имплантации порта, которая в основном проводилась через внутреннюю яремную вену под контролем ультразвукографии.

Заключение

Исследование проведено на большом количестве (n=2510) пациентов, составлен подробный отчет факторов, влияющих на продолжительность и эксплантацию порт-систем, проведен собственный анализ, в обсуждении сравниваются данные с другими исследователями. Показаны преимущества предлагаемой методики имплантации порт-систем. В заключении можно сказать, что порт-система в значительной степени облегчает и помогает вести полноценную жизнь пациентам с онкологическими заболеваниями и проводить курсы химиотерапии, метод имплантации порт-системы с минимальными интраоперационными и отдаленными осложнениями является важным моментом для данной категории пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Woodburn R.T. Subcutaneous venous access device and needle system. USA. Patent №220609. 29.08.1989.
2. Huber R.R. Hypodermic needle. USA. Patent № 654373. 22.10.1946.
3. Загорюлько А.И., Рыков С.П., Козлов Д.В. Имплантация порт систем — это уже рутинная или остаются нерешенные вопросы? // Международный журнал интервенционной кардиоангиологии. 2024. Приложение. С.114–115
4. А.И. Загорюлько, Г.П. Нистратов, С.П. Рыков. Осложнения центральных венозных порт-систем: иллюстрированный обзор: учебное пособие / А.И. Загорюлько, Г.П. Нистратов, С.П. Рыков; под ред. В.Н. Галкина. — Москва: РУДН, 2025. С. 3–23.
5. Буйденко Ю.В. Современные подходы к обеспечению длительного венозного доступа в онкологии. Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. 2021.10(3). С. 69–78. DOI: 10.17116/onkolog20211003169.
6. Wang Y.C., Lin P.L., Chou W.H. Longterm outcomes of totally implantable venous access devices. // Support Care Cancer. 2017. 25. Vol. 2049–54.
7. Tabatabaie O., Kasumova G.G., Eskander M.F. Totally Implantable Venous Access Devices: A Review of Complications and Management Strategies // Am J Clin Oncol 2017. 40. Vol. 94–105.
8. Rauthe G., Altmann C. Complications in connection with venous port systems: prevention and therapy. // Eur J Surg Oncol. 1998.24. Vol.192–9.

9. Johnson E., Babb J., Sridhar D. Routine Antibiotic Prophylaxis for Totally Implantable Venous Access Device Placement: Meta-Analysis of 2,154 Patients // J Vasc Interv Radiol. 2016. 27. Vol. 339–43.
10. Kakkos A., Bresson L., Hudry D. Complication-related removal of totally implantable venous access port systems: Does the interval between placement and first use and the neutropenia-inducing potential of chemotherapy regimens influence their incidence? A four-year prospective study of 4045 patients// Eur J Surg Oncol. 2017.43. Vol. 689–95.
11. Narducci F., Jean-Laurent M., Boulanger L., El Bedoui S., Mallet Y., Houpeau JL, et al. Totally implantable venous access port systems and risk factors for complications: a one-year prospective study in a cancer centre. Eur J Surg Oncol 2011;37:913–8.
12. Zhou J., Qian S., He W., Han G., Li H., Luo R. Implanting totally implantable venous access port via the internal jugular vein guided by ultrasonography is feasible and safe in patients with breast cancer. World J Surg Oncol 2014;12:378.
13. Hoareau-Gruchet F., Rtail R., Sulaj H., Khirnetkina A., Reyt E., Righini C.A. Complications after insertion of a totally implantable venous access port in patients treated with chemotherapy for head and neck squamous cell carcinoma. Ann Otolaryngol Chir Cervicofac 2009;126:43–52.
14. Ozdemir N.Y., Abali H., Oksuzoglu B., Budakoglu B., Akmangit I., Zengin N. It appears to be safe to start chemotherapy on the day of implantation through subcutaneous venous port catheters in inpatient setting. Support Care Cancer 2009;17:399–403.

© Загорюлько Алексей Иванович (alexrus80@yandex.ru); Нистратов Григорий Павлович (hypokrat-g@mail.ru);
Голубцов Андрей Константинович (andgol09@yandex.ru); Козлов Денис Владимирович (kozlovden@mail.ru);
Колединский Антон Геннадьевич (koledant@mail.ru); Рыков Станислав Павлович (stanislas.rukov@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СПОСОБА УСТРАНЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ СМОДЕЛИРОВАННОЙ МИННО-ВЗРЫВНОЙ ТРАВМЫ МЯГКИХ ТКАНЕЙ И ОРГАНОВ МАЛОГО ТАЗА С ТАЗОВОЙ ЭВЕНТРАЦИЕЙ

SUBSTANTIATION OF THE EXPERIMENTAL METHOD OF ELIMINATION OF THE CONSEQUENCES OF SIMULATED MINE BLAST TRAUMA OF SOFT TISSUES AND PELVIC ORGANS WITH PELVIC EVENTURE

S. Kapralov
M. Polidanov
D. Gavrukov
K. Volkov
V. Maslyakov
D. Tashukhozhaeva

Summary. Purpose of the study: substantiation of the experimental method of elimination of the consequences of the modeled mine blast injury of soft tissues and pelvic organs with pelvic eventure. *Materials and methods.* 20 laboratory animals — rats of «Standard» breed, weighing 450 ± 50 g, were used as biological models in the experiment. Modeling of mine-explosive trauma of soft tissues and pelvic organs in female rats under anesthesia was performed according to the previously developed method. After macro- and microscopic evaluation of the modeled mine-explosive trauma we proceeded to the elimination of the ligamentous apparatus rupture with pelvic euteration by implantation of grafts by laparotomy. For this purpose, an uncovered endoscopic biliary stent (WallFlex RX) was used and implanted in female rats at 1 day after MBT. For comparative evaluation, the animals were divided into 2 groups of 10 rats in each group. Animals of the 1st group used uncovered endoscopic biliary stent for implantation, animals of the 2nd group — Esfil surgical meshes made of polypropylene monofilaments of 0.14 mm diameter. After 10 days from the moment of the grafts installation the material for morphological study was taken. *Results of the study.* At the morphological study, it was confirmed that the use of uncovered endoscopic biliary stent (WallFlex RX) as a graft leads to more significant elimination of ligamentous apparatus rupture and more significant improvement of strength characteristics of the operated mine blast injury. *Conclusions.* It was confirmed that the use of uncovered endoscopic biliary stent (WallFlex RX) as a graft, leads to more significant elimination of ligamentous apparatus rupture and more significant improvement of strength characteristics of the operated mine blast injury.

Keywords: mine blast trauma, soft tissues and pelvic organs, experimental modeling, female rats, elimination of the consequences of modeled trauma, prosthetics, morphological evaluation.

Капралов Сергей Владимирович

д.м.н., доцент, Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского
sergejkapralov@yandex.ru

Полиданов Максим Андреевич

специалист научно-исследовательского отдела,
ассистент, Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru

Гавруков Дмитрий Сергеевич

Врач-хирург, заведующий
хирургическим отделением №4, Городская клиническая
больница имени С.С. Юдина, г. Москва

Волков Кирилл Андреевич

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский
университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России

Масляков Владимир Владимирович

д.м.н., профессор, Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского;
Медицинский университет «Реавиз», Саратов
maslyakov@inbox.ru

Ташухожеева Диана Тахировна

кандидат медицинских наук, Медицинский университет
«Реавиз», г. Саратов

Аннотация. Цель исследования: обоснование экспериментального способа устранения последствий смоделированной минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза с тазовой эвентрацией. *Материалы и методы.* В качестве биологических моделей в эксперименте использовались 20 лабораторных животных — крыс, породы «Стандарт», массой 450 ± 50 г. Моделирование минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза у находящихся под наркозом самок крыс, производили по ранее разработанной методике. После макро- и микроскопической оценки смоделированной минно-взрывной травмы приступали к устранению разрыва связочного аппарата с тазовой эвентрацией путем имплантации трансплантатов путем лапаротомии. Для этого использовали непокрытый эндоскопический билиарный стент (WallFlex RX), который имплантировали самкам-крыс на 1 сутки после получения MBT. Для сравнительной оценки животные были разделены на 2 группы по 10 крыс в каждой группе. Животным 1-ой группы для имплантации использовался непокрытый эндоскопический билиарный стент, животным 2-ой группы — хирургические сетки Эсфил, выполненные из полипропиленовых мононитей диаметром 0,14 мм. По истечению 10 суток от момента установки трансплантатов забирался материал для морфологического исследования. *Результаты исследования.* При морфологическом исследовании, было подтверждено, что использование в качестве трансплантата непокрытого эндоскопического билиарного стента (WallFlex RX) приводит к более значимому устранению разрыва связочного аппарата и более значимому улучшению прочностных



Введение

Известен способ закрытия дефекта тазового дна после экстралеваторной брюшно-промежностной экстирпации прямой кишки с использованием пластины ксеноперикардальной «Кардиоплант» [1], который заключается в восстановлении анатомической целостности диафрагмы таза с помощью трансплантата на основе биологического материала. После наложения швов на мышцы и аноскопиковую связку, пластину фиксируют П-образными швами. Перед этим гладкая сторона пластины обрабатывается противоспаечным гелем. Фиброзную сторону пластины располагают к мягким тканям промежности. Пластину адаптируют под размер дефекта, обеспечивая умеренное натяжение без образования складок. Лишнюю часть пластины удаляют и закрепляют её по краям непрерывным швом с помощью нерассасывающейся нити. Затем ушивается ишио-ректальная клетчатка и кожа промежности. Этот метод восстанавливает целостность тазовой диафрагмы и снижает вероятность послеоперационных осложнений благодаря ускорению процесса заживления тканей.

Однако данный способ сложен и трудоемок. Существуют несколько недостатков использования проленовой сетки: во-первых, возможно наличие инородного тела, которое может контактировать с петлями тонкой кишки, требуя мер для изоляции кишечника; во-вторых, представленный метод ограничен в применении при обширных дефектах тазового дна, когда невозможно закрыть проленовую сетку снаружи на промежности подкожной жировой клетчаткой с кожей; в-третьих, существует риск отторжения трансплантата и возможные аллергические реакции при использовании биологических материалов.

Известен также способ оперативного лечения переломов вертлужной впадины [2], который включает следующие этапы: сначала осуществляют остеосинтез вертлужной впадины после отсечения большого вертела. Затем выполняют заднебоковой доступ к большому вертелу, который вместе с частью шейки и прикрепленными мышцами отсекают от бедренной кости у основания под углом к горизонтали, соответствующим шеечно-диафизарному углу, при этом плоскость остеотомии наклонена

характеристик оперированной минно-взрывной травмы. *Выводы.* Было подтверждено, что использование в качестве трансплантата непокрытого эндоскопического билиарного стента (WallFlex RX), приводит к более значимому устранению разрыва связочного аппарата и более значимому улучшению прочностных характеристик оперированной минно-взрывной травмы.

Ключевые слова: минно-взрывная травма, мягкие ткани и органы малого таза, экспериментальное моделирование, самки-крысы, устранения последствий смоделированной травмы, протезирование, морфологическая оценка.

назад. После этого большой вертел отводят проксимально, а затем, после необходимых манипуляций на впадине, смещают в направлении головки и фиксируют.

Недостатком этого способа лечения переломов вертлужной впадины является отсечение большого вертела, что значительно повышает травматичность операции и усложняет восстановление функций отводящих мышц в послеоперационный период, что может привести к образованию у пациента послеоперационной контрактуры сустава. Более того, даже после проведенного остеосинтеза переломы вертлужной впадины могут спровоцировать развитие вторичного остеоартроза тазобедренного сустава. В дальнейшем проведение эндопротезирования через изменённые рубцовой тканью участки, а также создание имплантационных лож для тазовых и бедренных компонентов будут осложнены наличием в костной ткани винтов, шурупов и прочих металлических фиксаторов.

Известен способ моделирования взрывной травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости [3], включающий нанесение травмы на предварительно выстриженную поверхность бедра находящегося под наркозом мелкого лабораторного животного — крысы. Травму наносят за счет организации взрыва путем подрыва взрывного заряда, в качестве которого используют пиротехническое изделие бытового назначения — обыкновенную терочную петарду Корсар-2, которую устанавливают в бедре крысы в непосредственной близости от кости — на расстоянии 0,5–0,8 см от нее, в канале длиной 2,0–2,5 см, сформированном в области расположения полусухожильной, полуперепончатой и двуглавой мышц бедра, через линейный разрез кожи длиной 0,8–1,0 см, выполненный в средней трети латеральной поверхности бедра крысы параллельно длинику бедренной кости, для чего тупым способом, с помощью зажима, минимально травмируя ткани, раздвигают кожу и расслаивают мышцы бедра. Петарду Корсар-2 устанавливают таким образом, чтобы ее часть от места запала выступала на 2 см над поверхностью кожи, а оставшаяся часть располагалась в сформированном канале и частично, а именно на 0,3–1,0 см, выступала из контрапертуры на противоположной поверхности бедра. Для моделирования изолированной взрывной

травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости используют крыс с массой тела 320 ± 30 г.

Однако данный способ требует проведения несколько оперативных вмешательств, подбора взрывчатых элементов, что увеличивает срок моделирования.

Известен способ анализа результатов оказания хирургической помощи раненым и пострадавшим с эвентрацией внутренних органов живота [4]. Разработанная экспериментальная биологическая модель эвентрации у мелких и крупных животных позволяет достоверно воссоздать картину патологического состояния и провести комплекс сравнительных клинико-лабораторных, микробиологических, морфологических, микроциркуляторных исследований, направленных на оценку безопасности и эффективности штатных медицинских средств и опытных образцов повязок для защиты и увлажнения эвентрированных органов брюшной полости. Апробация лабораторных образцов медицинских изделий для защиты и увлажнения эвентрированных полых органов живота на мелких животных (крысах) показала, что использование асептической повязки-абдоминальной из нетканого материала «спанбонд» и пропитками винилин+силикон, позволяет снизить частоту инфицирования брюшной полости с 80,0 до 28,6 %, уменьшить частоту развития спаечного процесса с 55 до 25 %, предотвратить развитие перитонита и летальных исходов, тогда как в группе контроля в 53 % случаев развивался перитонит и отмечалась 20 %-ная летальность.

Однако данная асептическая повязка способствует только снижению частоты инфицирования и как следствие осложнений, но не стимулирует процессы репарации поврежденных анатомических структур.

В связи с вышеперечисленным, *цель исследования*: обоснование экспериментального способа устранения последствий смоделированной минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза с тазовой эвентрацией.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на 20 лабораторных крысах-самках породы «Стандарт» массой 200 ± 50 г. Все манипуляции и содержание животных было регламентировано локальным этическим комитетом Медицинского университета «Реавиз» (протокол № 9, 10.09.2024). Условия содержания в виварии лабораторных животных регламентированы РД-АПК 3.10.07.02-09 «Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений», приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабо-

раторной 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). Моделирование минно-взрывной травмы (МВТ) мягких тканей и органов малого таза у находящихся под наркозом самок крыс, производили путем нанесения травмы ударной волной, термическими повреждениями и повреждениями поражающими элементами на предварительно выстриженную поверхность тела животного, для моделирования разрыва стенок матки у самок животного с отделением ее от связок и от апоневроза Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки. МВТ наносили пусковым устройством (ПУ) пружинного типа с резьбовыми патронами, имеющим гильзу с капсюлем-воспламенителем, пороховым зарядом, состоящим из порошкового магния и перхлората калия и сигнальной звездкой, массой 0,009 г, временем горения заряда 3–5 сек, с расстояния ± 5 см, при этом животное размещали в горизонтальном положении лежа на спине с разведенными и фиксированными задними лапами. Лапы фиксировали таким образом, чтобы участок промежности, подлежащий травматизации, находился под дульным срезом ПУ на расстоянии ± 5 см. ПУ ориентировали по вектору взрыва на промежность. Для приведения ПУ в рабочее положение устанавливали штифт ударного механизма в первый от дульного среза вырез на корпусе устройства. Отвернув ПУ от себя, ввинчивали резьбовой патрон в отверстие корпуса до упора и фиксировали ПУ рукой. Затем, удерживая прочно ПУ с резьбовым патроном в вытянутой вверх руке (под углом 90°), производили выстрел, для чего штифт был сдвинут в продольный паз. Выстрел производили в помещении с отсутствием ветра и внешних воздействий.

После выстрела проводили макроскопическую оценку поражения путем осмотра наружной поверхности области промежности: края ран были неровными, с мелкими надрывами, обожженными, в связи с чем сопоставить края ран не представлялось возможным (дефект «минус-ткань» по М.И. Райскому). После проведения наружного осмотра места поражения проводили рассечение мягких тканей таким образом, чтобы плоскость сечения была перпендикулярна поверхности кожи и проходила через центр области травмы. В ходе препарирования тканей, было уставлено, что входное отверстие продолжалось слепым раневым каналом глубиной около $3/4$ толщи мышечно-фасциального слоя. Дефект мышечно-фасциального слоя отличался звездчатой формой и соответствовал размеру кожного дефекта. В раневом канале были обнаружены поражающие элементы, образовавшиеся при взрыве резьбового патрона и участок миометрия с полным разрывом стенки матки и отделением её от связок и от апоневроза Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки.

В дальнейшем приступали к устранению разрыва связочного аппарата с тазовой эквентрацией путем имплантирования трансплантатов путем лапаротомии. Для этого использовали непокрытый эндоскопический билиарный стент (WallFlex RX), который имплантировали самкам-крыс на 1 сутки после получения МВТ. Для сравнительной оценки использования эндоскопического билиарного стента в ране после МВТ использовали хирургические сетки Эсфил, выполненные из полипропиленовых мононитей диаметром 0,14 мм. Для сравнительной оценки животные были разделены на 2 группы по 10 крыс в каждой группе. Животным 1-ой группы для имплантирования использовался непокрытый эндоскопический билиарный стент, животным 2-ой группы — хирургические сетки Эсфил, выполненные из полипропиленовых мононитей диаметром 0,14 мм. По истечению 10 суток от момента установки трансплантатов забирался материал для морфологического исследования.

Результаты исследования

Морфологическими признаками благоприятного течения регенеративного процесса при устранении разрыва связочного аппарата с тазовой эквентрацией путем имплантирования трансплантатов являются появление незрелого коллагена с отчетливыми процессами капилляризации 1, а также интеграцией непокрытого эндоскопического билиарного стента с мышечными волокнами в срок до 10 суток после операции при минимальной лейкоцитарной инфильтрации (рисунок 1); признаками неблагоприятного регенеративного процесса является отсутствие незрелого коллагена в срок до 10 суток после операции при выраженной лейкоцитарной инфильтрации 3, с визуализацией множественных кистозных образований, наличием клеток инородных тел, а также отмечающейся атрофией мышечного волокна 2, что наблюдается при морфологическом исследовании препаратов 2-ой группы (рисунок 2).

Таким образом, при морфологическом исследовании, было подтверждено, что использование в качестве трансплантата непокрытого эндоскопического билиарного стента (WallFlex RX) приводит к более значимому устранению разрыва связочного аппарата и более значимому улучшению прочностных характеристик опе-

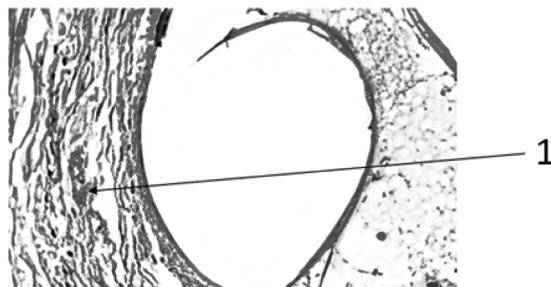


Рис. 1. Морфологическая картина образцов 1-ой группы
Примечание: цифрой 1 — показано появление незрелого коллагена с отчетливыми процессами капилляризации

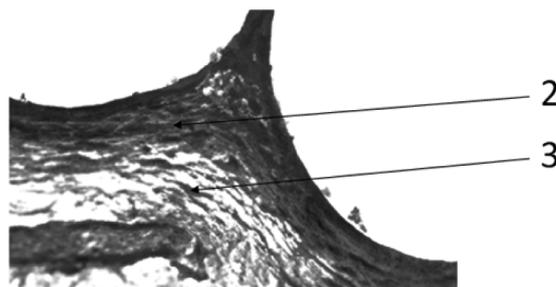


Рис. 2. Морфологическая картина образцов 2-ой группы
Примечание: цифрой 2 — показана атрофия мышечного волокна; цифрой 3 — инфильтрация лейкоцитами

рированной МВТ. Морфологические признаки зрелого коллагена послеоперационного рубца, минимальная лейкоцитарная инфильтрация, наличие в рубце фибробластов свидетельствуют о благоприятном характере регенеративного процесса и достаточном качестве выполненной операции путем имплантирования стента WallFlex RX.

Заключение

Таким образом, экспериментальным способом [5] было подтверждено, что использование в качестве трансплантата непокрытого эндоскопического билиарного стента (WallFlex RX), выполненного из металлического сплава — нитинола (отличающегося химической инертностью и не вызывающим реакции отторжения) приводит к более значимому устранению разрыва связочного аппарата и более значимому улучшению прочностных характеристик оперированной МВТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент RU 2636417, МПК А61В17/00, опубл. 23.11.2017. Шинкарев С.А., Латышев Ю.П., Клычева О.Н. Способ закрытия дефекта тазового дна после экстра-леваторной брюшно-промежностной экстирпации прямой кишки с использованием пластины ксеноперикардальной «Кардиоплант».
2. Патент RU 2360627, МПК А61В17/56, опубл. 20.12.2004. Вишняков А.А., Волокитина Е.А. Способ эндопротезирования тазобедренного сустава при переломах и посттравматических дефектах вертлужной впадины.
3. Патент RU 2748384, МПК А61В5/00, опубл. 25.05.2021. Шперлинг И.А. Шперлинг Н.В., Шулёпов А.В., Романов П.А., Крупин А.В., Заргарова Н.И., Шперлинг М.И., Юркевич Ю.В., Серебряков В.А., Арутюнян А.А. Способ моделирования взрывной травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости.
4. Адаменко В.Н. Разработка средств для устранения последствий ранения живота с эвентрацией и алгоритмов их применения (клинико-экспериментальное исследование): диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. 2023; 245 с.
5. Заявка на патент РФ на изобретение № 2025103927 от 21.02.2025. Полиданов М.А., Гавруков Д.С., Капралов С.В., Волков К.А., Кашихин А.А., Петрунькин Р.П., Ташухожеева Д.Т., Сулайманова Р.Т., Виноградова О.А., Ратушняк А.А., Горбунова Е.С., Чупахин Н.В., Сафронов Д.В., Ванжа Я.Е., Власова Т.В. Способ устранения последствий смоделированной минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза с тазовой эвентрацией.

© Капралов Сергей Владимирович (sergejkapralov@yandex.ru); Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru);
Гавруков Дмитрий Сергеевич; Волков Кирилл Андреевич; Масляков Владимир Владимирович (maslyakov@inbox.ru);
Ташухожеева Диана Тахировна

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ОЦЕНКИ МЕНСТРУАЛЬНОЙ КРОВОПОТЕРИ, ОСНОВАННОГО НА АЛКАЛИН-ГЕМАТИНОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A METHOD FOR ESTIMATING MENSTRUAL BLOOD LOSS BASED ON ALKALINE-HAEMATIN EXTRACTION

E. Pogodina
A. Lobov
P. Ivanova
E. Golovnya
E. Sorokina

Summary. Assessment of menstrual blood loss is crucial for the diagnosis and management of gynecological diseases, but there is no standardized laboratory test to accurately quantify menstrual blood loss. The aim of this study was to evaluate and optimize the alkaline-hematin test for the assessment of menstrual blood loss using modern laboratory equipment. Five female volunteers who provided used menstrual hygiene products during one complete menstrual cycle participated in the study. The samples were subjected to alkaline extraction and hemoglobin concentration was measured using a Tecan Infinite f50 spectrophotometer. Before the main study, we tested whether the brand of hygiene product affected the results of hemoglobin extraction and verified that there were no significant differences between different brands of products. The results showed different amounts of menstrual blood loss in the volunteers and correlated with the gynecological history of the volunteers. The study confirmed the feasibility of using the alkaline-hematin test to quantify menstrual blood loss, demonstrating its potential application in clinical practice. However, further validation with the involvement of more volunteers is needed to establish reference values, optimize sample collection methods, and develop a universal algorithm for recalculating results for use in clinical practice and for patients. This method can serve as a valuable diagnostic tool that will allow an objective assessment of the amount of blood loss, and can also be used as a marker of the effectiveness of therapy.

Keywords: menstruation, anemia, laboratory diagnostics, oncology.

Погодина Екатерина Александровна

Генеральный директор, биолог,
КЛД Научно-медицинская лаборатория «Аликвота»,
ФГБУ «Научно-исследовательский институт вакцин
и сывороток им. И.И. Мечникова» Минздрава России
katerina0508@inbox.ru

Лобов Антон Викторович

Медицинский директор, врач,
КЛД Научно-медицинская лаборатория «Аликвота»,
ФГБУ «Научно-исследовательский институт вакцин
и сывороток им. И.И. Мечникова» Минздрава России
lobov-anton@list.ru

Иванова Полина Игоревна

Заведующий клинико-диагностической лабораторией,
биолог, КЛД Научно-медицинская лаборатория
«Аликвота» ФГБУ «Научно-исследовательский
институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова»
Минздрава России

ivanova.m.o.r@yandex.ru

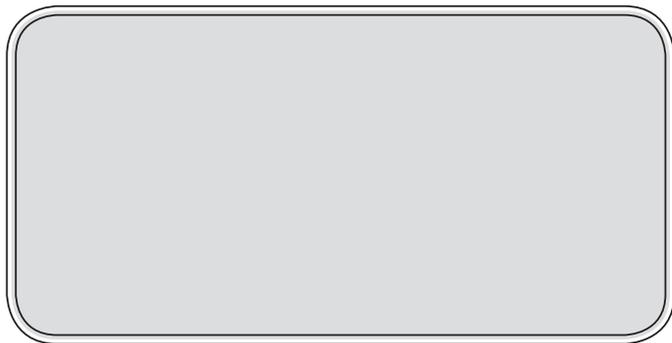
Головня Евгений Геннадьевич

Научный сотрудник,
Научно-медицинская лаборатория «Аликвота»
evgeniy.golovnya@aliquot.ru

Сорокина Екатерина Вячеславовна

Доктор медицинских наук, Заведующий лабораторией
механизмов регуляции иммунитета,
врач-дерматовенеролог,
ФГБУ «Научно-исследовательский институт вакцин
и сывороток им. И.И. Мечникова» Минздрава России
sorokina-cathrin@yandex.ru

Аннотация. Оценка менструальной кровопотери имеет большое значение для диагностики и лечения гинекологических заболеваний, однако не существует стандартизированного лабораторного теста для ее точной количественной оценки. Целью данного исследования было оценить и оптимизировать алкалин-гематиновый тест для измерения менструальной кровопотери с использованием современного лабораторного оборудования. В исследовании приняли участие пять женщин, от которых были получены использованные средства индивидуальной гигиены в течение одного полного менструального цикла. Образцы подвергались щелочной экстракции, после чего измерение проводилось с помощью планшетного спектрофотометра Tecan Infinite f50. Перед началом основного исследования мы проверили, влияет ли марка гигиенического средства на результаты, и убедились, что существенных различий между средствами разных производителей не наблюдалось. Результаты показали разный объем менструальной кровопотери у добровольцев, причем полученные результаты коррелировали с гинекологическим анамнезом добровольцев. Исследование подтвердило возможность использования алкалин-гематинового теста для количественной оценки менструальной кровопотери, продемонстрировав



Актуальность

Менструация — это естественный физиологический процесс для женщин репродуктивного возраста, который служит важным показателем общего состояния здоровья. Одним из ключевых измеряемых параметров, связанных с менструацией, является объем кровопотери. Изменения менструальной кровопотери могут быть как причиной, так и следствием различных патологических состояний [1, 2].

Одной из наиболее значимых проблем, связанных с менструальной кровопотерей, является повышенный риск развития железодефицитной анемии (ЖДА) у женщин. Из-за повторяющегося характера кровопотери во время менструации женщины более подвержены дефициту железа, чем мужчины [3, 4, 5]. Несмотря на четкую связь между обильными менструальными кровотечениями (ОМК) и ЖДА, это состояние часто игнорируется или считается физиологической нормой как медицинскими работниками, так и самими женщинами из-за отсутствия объективного и стандартизированного метода оценки [6].

Чрезмерная менструальная кровопотеря, даже при отсутствии других заметных отклонений, часто приводит к анемии [7]. Симптомы анемии могут стать достаточно серьезными, чтобы потребовать приема препаратов железа, которые временно повышают уровень гемоглобина, но не устраняют основную причину. Помимо анемии, показатель уровня гемоглобина может служить клиническим индикатором различных гинекологических заболеваний, включая фибромиому матки, эндометриоз и другие нарушения, влияющие на репродуктивную систему [8, 9]. Систематическая и объективная оценка кровопотери может стать полезным инструментом для мониторинга этих состояний и оценки эффективности лечения.

К тому же повышенная менструальная кровопотеря может свидетельствовать о нарушениях в системе гемостаза. Своевременное выявление этих нарушений может способствовать ранней диагностике и началу соответствующей терапии [10]. И наоборот, гипоменорея,

его потенциальное применение в клинической практике. Однако для установления референсных значений, оптимизации методов сбора образцов и разработки универсального алгоритма пересчета результатов для использования в клинической практике и для пациентов необходима дальнейшая валидация с привлечением большего количества добровольцев. Этот метод может послужить ценным диагностическим средством, которое позволит объективно оценить объем кровопотери, а также может быть использован в качестве маркера эффективности проводимой терапии.

Ключевые слова: менструация, анемия, лабораторная диагностика, онкология.

характеризующаяся аномально низкой менструальной кровопотерей, может быть клиническим признаком ряда эндокринных или репродуктивных нарушений. Несмотря на ее клиническую значимость, в настоящее время не существует общедоступной стандартизированной тест-системы для оценки менструальной кровопотери. Существующие методы в значительной степени зависят от субъективной самооценки, что может привести к существенным расхождениям в диагностике и лечении [11].

В настоящее время гинекологи часто оценивают менструальную кровопотерю, спрашивая пациенток, сколько гигиенических средств они используют в день. Однако этот метод субъективен, поскольку не учитывает степень насыщения, максимальную впитывающую способность конкретного изделия, а также вариабельность между различными марками и типами средств менструальной гигиены. В результате такой подход дает лишь приблизительную и нестандартизированную оценку кровопотери, что делает его ненадежным для принятия клинических решений [12].

Отсутствие объективного, доступного метода оценки менструальной кровопотери означает, что многие женщины не могут определить, находится ли их кровопотеря в физиологическом диапазоне или является чрезмерной [13]. В существующей литературе нет общепринятого референтного диапазона нормальной менструальной кровопотери, несмотря на хорошо документированные корреляции между общей кровопотерей и общей потерей объема жидкости [14]. В большинстве источников указывается, что нормальная менструальная кровопотеря не должна превышать 80 мл крови за цикл [15;21;22].

В середине XX века Хальберт и Нельсон предложили метод щелочной экстракции гематина в качестве средства количественной оценки менструальной кровопотери [13]. Этот метод был разработан для объективного измерения кровопотери путем анализа использованных менструальных гигиенических средств. Метод заключается в оценке щелочного гематина, извлеченного из высушенных использованных прокладок 10 % раствором щелочи, и последующем спектрофотометрическом

определении оптической плотности раствора для регистрации гематина. Однако, несмотря на свой диагностический потенциал, этот метод имеет ряд недостатков, включая технические проблемы, связанные с подготовкой образцов, эффективностью экстракции и внедрением в современные клинические лаборатории [17;18;19]. В дальнейшем метод был неоднократно повторен и модифицирован [15; 16; 20; 26].

Учитывая существующие ограничения в оценке менструальной кровопотери, растет потребность в стандартизированных и клинически применимых методиках [23;24;25;27].

Материалы и методы

Нами было проведено пилотное исследование с участием пяти участниц для оценки возможности и надежности метода щелочной экстракции гематина для количественного определения менструальной крови. Для этого были выбраны тонкие впитывающие гигиенические прокладки на гелевой основе из линейки Always Ultra. Предыдущие исследования показали, что эти прокладки хуже поддаются экстракции, однако на сегодняшний день они остаются одними из наиболее широко используемых средств менструальной гигиены [15]. Для построения калибровочного графика были подготовлены 101 прокладка, каждая из которых содержала по 10 мл раствора, содержащего 50 % аттестованного гематологического контроля с известным содержанием гемоглобина (BC-6D, нормальный уровень, 105-002424-00, Mindray) и 50 % физиологического раствора (Кат. №: P011п, Панэко), таким образом была получена модельная менструальная жидкость [17]. Экстракция была

проведена в 10 % раствор NaOH, как и рекомендовано в оригинальном методе [13]. Алкалин-гематиновая экстракция была проведена в одинаковом объеме щелочи для следующего количества прокладок: 1, 10, 20, 30, 40. С учетом того, что для приготовления материала использовался стандартный раствор с известным содержанием гемоглобина, мы могли точно знать количество гемоглобина в каждом образце. Экстракция длилась 24 часа, в течение которых дважды было проведено перемешивание при помощи орбитального шейкера (Biosan OS-20) в плотно закрытой таре.

Статистический анализ проводился с использованием описательной статистики для обобщения данных о концентрации гемоглобина и рассчитанной кровопотере. Коэффициент вариации (CV%) использовался для оценки согласованности результатов. Полученные результаты подтвердили целесообразность внедрения метода щелочной экстракции гематина в рутинную клиническую практику.

Результаты

Перед проведением основного исследования было принято решение подтвердить предположение о том, что марка прокладки не оказывает существенного влияния на результат [17] для того, чтобы дать наиболее полные рекомендации добровольцам, согласившимся принять участие в эксперименте.

Из каждой емкости были отобраны аликвоты для оценки оптической плотности. Измерение проводилось на двух спектрофотометрах: Tecan infinite f50 $\lambda=620$ нм (рис. 1) и Thermo Fisher Genesis 10 $\lambda=546$ нм (рис. 2) и $\lambda=620$ нм (рис. 3).

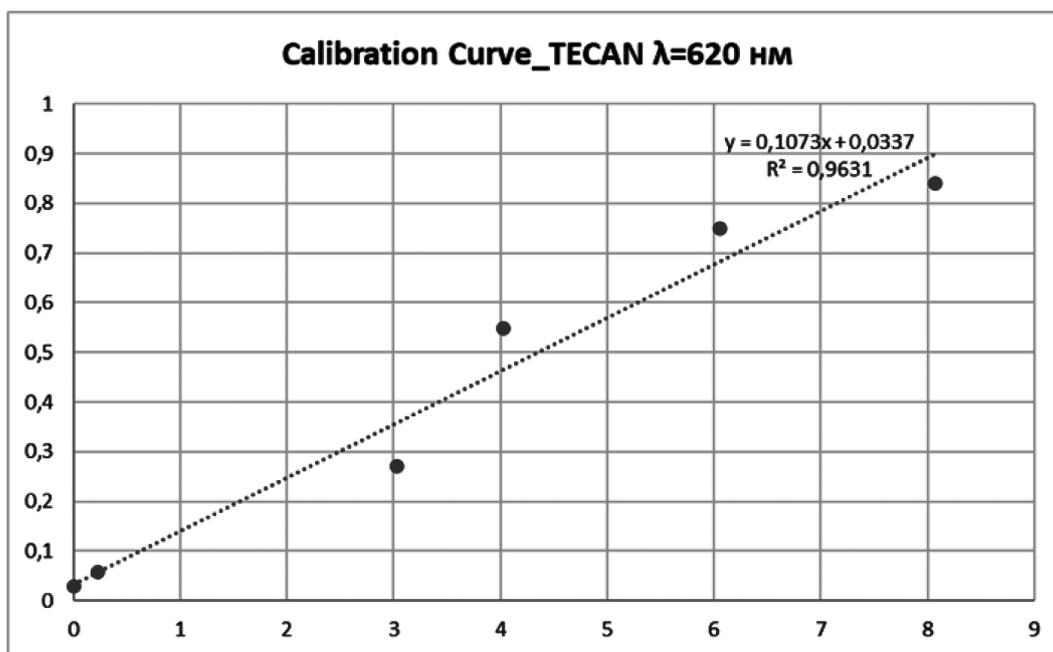


Рис. 1. Калибровочный график на Tecan infinite f50 ($\lambda=620$ нм)

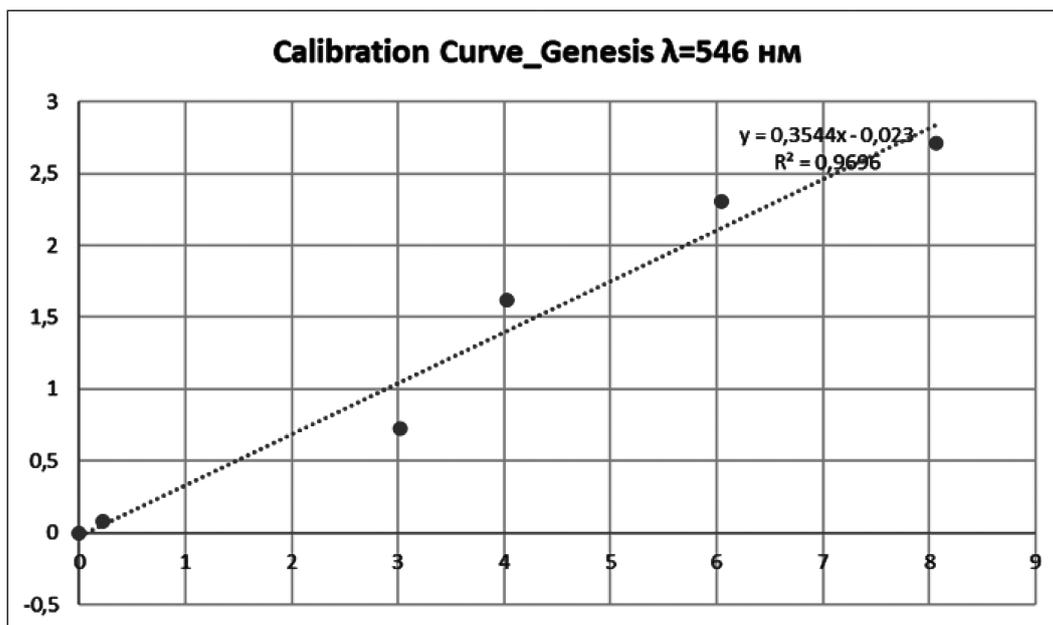


Рис. 2. Калибровочный график на Thermo Fisher Genesis 10 λ=546 нм

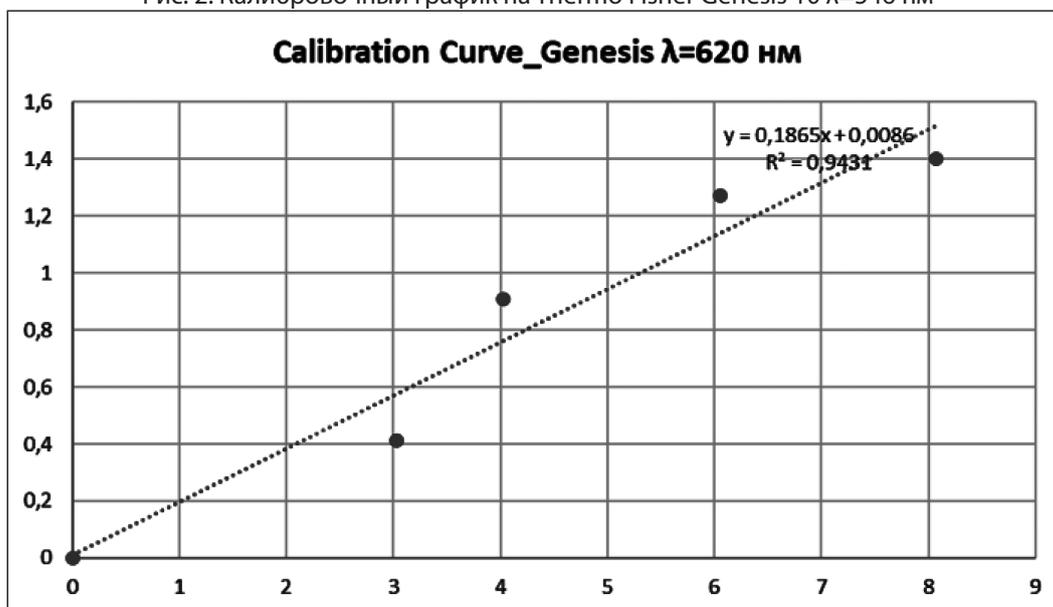


Рис. 3. Калибровочный график на Thermo Fisher Genesis 10 λ=620 нм

На каждом из них для образцов была получена линейная зависимость.

Для проверки влияния марки используемых средств индивидуальной гигиены на результат были проведены предварительные тесты с использованием средств от 6 производителей.

Мы использовали наиболее популярные виды прокладок. На каждую из них было нанесено известное количество модельной менструальной жидкости (50 % раствор гематологического контроля в физрастворе). Как и при построении калибровочного графика, каждая прокладка была залита одинаковым объемом 10 %

NaOH, периодически помешивалась, и далее спустя 24 часа в полученном экстракте была измерена оптическая плотность, и далее рассчитана концентрация. Ожидаемая концентрация гемоглобина в полученном растворе составляла 2,42 г/л. (табл. 2).

Нами были получены следующие значения концентраций (см. табл. 1).

Полученные результаты предварительно показали, что существенных отличий при использовании различных средств личной гигиены не наблюдается, что позволяет не ограничивать пациентов при необходимости проведения данного исследования, и принимать на анализ любые их виды.

Таблица 1.
Концентрация гемоглобина в различных марках гигиенических прокладок

Вид прокладки	Полученная концентрация, г/л (Genesis 10, λ=546)	Полученная концентрация, г/л (Genesis 10, λ=620)	Полученная концентрация, г/л (Tecan infinite f50, λ=620)
Always Platinum	2,12	2,15	2,22
Naturella	2,18	2,21	2,28
Always Ultra	2,27	2,26	2,35
Bella	2,41	2,42	2,48
Pupa	2,6	2,63	2,71
Ашан красная птица	2,46	2,53	2,61
Среднее значение	2,34	2,37	2,44
CV%	7,8 %	8,1 %	7,9 %

Таблица 2.

Измерение кровопотери у добровольцев

Доброволец	Гемоглобин, г/л	Концентрация гематина, г/л	Рассчитанный объем кровопотери, мл
1	121	3,38	83,8
2	135	0,36	8,0
3	135	0,56	12,4
4	103	2,9	84,5
5	148	0,23	4,7

В ходе основной части эксперимента была определена менструальная кровопотеря для группы из 5 добровольцев. От всех добровольцев было получено информированное согласие, все использованные средства личной гигиены (вне зависимости от марок и видов) были предоставлены в лабораторию в целлофановых пакетах, и сразу перенесены в желтые ведра.

Срок высушивания для всех образцов составил до 1 месяца от поступления в лабораторию. Для регистрации результатов был выбран планшетный спектрофотометр Tecan infinite f50.

Полученные данные анкетирования добровольцев свидетельствуют об отсутствииотягощенного гинекологического анамнеза для 4-х из них (условно здоровые), и наличие подтвержденного диагноза «Миома матки» для Добровольца №1.

Полученные в ходе эксперимента результаты представлены в таблице 2.

Высокое полученное значение для Добровольца №4 не было ожидаемым, однако при последующем осмотре гинеколога были выявлены миома матки, эндометриоз, полипы эндометрия, а также назначено соответствующее оперативное лечение, что дополнительно подтверждает клиническую значимость теста.

Обсуждение

Алкалин-гематиновый тест известен более 60 лет, однако не получил распространения вследствие ряда ограничений, включая отсутствие стандартизации и унификации. Высокая диагностическая значимость, отсутствие альтернативы и современные возможности лабораторной диагностики позволяют пересмотреть методологическую часть для возможности его использования в рутинной клинико-диагностической практике. Однако для этого потребуются существенная доработка, поскольку, в частности, оригинальный метод учитывал лишь использование хлопковых прокладок (без гелевого слоя), к тому же отсутствовало понимание клинической интерпретации полученных результатов.

Основным преимуществом данного метода является неинвазивность. Для оценки кровопотери женщине достаточно собрать использованные средства гигиены в течение одного цикла (одного периода менструации). При этом сбор и транспортировка биоматериала может быть организована комфортным для женщины образом, например, с предоставлением подходящей атрибутики, включающей специальные емкости и пакеты.

При этом, по предварительной оценке, необязательно использовать одинаковые или определенные средства личной гигиены, поскольку, согласно литературным данным, подтвержденным нашим экспериментом, существенных отличий не обнаружено [8]. В течение дня женщина может собирать средства личной гигиены в пакеты, а затем, по возвращении домой переносить в подготовленную емкость.

Для более точного результата необходимо использовать тампоны при посещении туалета и ванной, при подмывании, чтобы биоматериал был собран в полном объеме. В полученных результатах у добровольцев 2 и 5 можно предположить несоблюдение данной рекомендации и, как следствие, неполный сбор биоматериала. Емкость рекомендуется не закрывать плотно, чтобы обеспечить достаточную вентиляцию для предотвращения роста грибковой микрофлоры и ускорения процесса сушки. Далее именно эта емкость передается в лабораторию. Результат может быть получен в течение нескольких дней.

Новизна данного метода состоит в том, что он оптимизирован и адаптирован для условий современной клинико-диагностической лаборатории. Проведенный эксперимент нельзя назвать достаточным для разработки тест-системы, поскольку в исследовании участвовали всего 5 добровольцев. Однако даже в данном объеме было получено подтверждение работоспособности тест-системы, обозначена возможная клиническая значимость.

Данная методика уже может быть использована для первичной оценки кровопотери, однако дополнительно необходимо провести валидационные испытания, включающие стандартизацию преаналитического этапа и референсных значений.

Заключение

Аномалии менструальной кровопотери могут служить как причиной, так и маркером различных заболеваний, что подчеркивает необходимость стандартизованного метода оценки объема кровопотери. В данном исследовании представлена методика оценки менструальной кровопотери на основе щелочной экстракции

гематина из высушенных использованных предметов личной гигиены, собранных в течение одного полного менструального цикла. Хотя этот метод был первоначально описан в середине XX века, в нашем исследовании он был адаптирован к современным лабораторным условиям и оптимизирован для повышения его практической применимости. Дальнейшее совершенствование этого подхода может позволить внедрить его в клиническую практику, обеспечив надежный и доступный инструмент для оценки менструальной кровопотери.

Неинвазивность метода и простота его применения делают его ценной альтернативой существующим методам самооценки, которые зачастую субъективны и ненадежны. Благодаря стандартизации сбора, выделения и измерения образцов, этот тест может предложить количественную оценку менструальной кровопотери, помогая в раннем выявлении и мониторинге таких состояний, как обильные менструальные кровотечения, анемия и гинекологические заболевания. Однако для определения референсных диапазонов, оценки воспроизводимости и клинических корреляций необходимы дополнительные валидационные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Cohen BJ, Gibor Y. Anemia and menstrual blood loss. *Obstet Gynecol Surv.* 1980 Oct;35(10):597–618. PMID: 6997784
- DeLoughery E, Colwill AC, Edelman A, Samuelson Bannow B. Red blood cell capacity of modern menstrual products: considerations for assessing heavy menstrual bleeding. *BMJ Sex Reprod Health.* 2024 Jan 9;50(1):21–26. doi: 10.1136/bmjsex-2023-201895. PMID: 37550075; PMCID: PMC10847380.
- Grace H. Tang, Michelle Sholzberg. Iron deficiency anemia among women: An issue of health equity, *Blood Reviews*, Volume 64, 2024, 101159, ISSN 0268-960X, <https://doi.org/10.1016/j.blre.2023.101159>.
- DeLoughery TG. Iron Deficiency Anemia. *Med Clin North Am.* 2017 Mar;101(2):319–332. doi: 10.1016/j.mcna.2016.09.004. Epub 2016 Dec 8. PMID: 28189173.
- Jacobs A, Butler EB. Menstrual blood-loss in iron-deficiency anaemia. *Lancet.* 1965 Aug 28;2(7409):407–9. doi: 10.1016/s0140-6736(65)90757-9. PMID: 14346760.
- Malcolm G. Munro, Alan E. Mast, Jacquelyn M. Powers, Peter A. Kouides, Sarah H. O'Brien, Toby Richards, Michelle Lavin, Barbara S. Levy, The relationship between heavy menstrual bleeding, iron deficiency, and iron deficiency anemia, *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, Volume 229, Issue 1, 2023, Pages 1–9, ISSN 0002-9378, <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2023.01.017>.
- Ekroos S, Karregat J, Toffol E, Castrén J, Arvas M, van den Hurk K. Menstrual blood loss is an independent determinant of hemoglobin and ferritin levels in premenopausal blood donors. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 2024 Aug;103(8):1645–1656. doi: 10.1111/aogs.14890. Epub 2024 Jun 10. PMID: 38856303; PMCID: PMC11266725.
- Fraser IS, Warner P, Marantos PA. Estimating menstrual blood loss in women with normal and excessive menstrual fluid volume. *Obstet Gynecol.* 2001 Nov;98(5 Pt 1):806–14. doi: 10.1016/s0029-7844(01)01581-2. PMID: 11704173.
- Wyatt KM, Dimmock PW, Walker TJ, O'Brien PM. Determination of total menstrual blood loss. *Fertil Steril.* 2001 Jul;76(1):125–31. doi: 10.1016/s0015-0282(01)01847-7. PMID: 11438330.
- Munro MG, Mast AE, Powers JM, Kouides PA, O'Brien SH, Richards T, Lavin M, Levy BS. The relationship between heavy menstrual bleeding, iron deficiency, and iron deficiency anemia. *Am J Obstet Gynecol.* 2023 Jul;229(1):1–9. doi: 10.1016/j.ajog.2023.01.017. Epub 2023 Jan 24. PMID: 36706856.
- Fraser IS, Warner P, Marantos PA. Estimating menstrual blood loss in women with normal and excessive menstrual fluid volume. *Obstet Gynecol.* 2001 Nov;98(5 Pt 1):806–14. doi: 10.1016/s0029-7844(01)01581-2. PMID: 11704173.
- Janssen CA, Scholten PC, Heintz AP. A simple visual assessment technique to discriminate between menorrhagia and normal menstrual blood loss. *Obstet Gynecol.* 1995 Jun;85(6):977–82. doi: 10.1016/0029-7844(95)00062-V. PMID: 7770270.
- Hallberg L, Nilsson L. Determination of menstrual blood loss. *Scand J Clin Lab Invest* 1964;16:244–8
- Schumacher U, Schumacher J, Mellinger U, Gerlinger C, Wienke A, Endrikat J. Estimation of menstrual blood loss volume based on menstrual diary and laboratory data. *BMC Womens Health.* 2012 Aug 20;12:24. doi: 10.1186/1472-6874-12-24. PMID: 22906181; PMCID: PMC3554478.
- Vasilenko P, Kraicer PF, Kaplan R, deMasi A, Freed N. A new and simple method for measuring menstrual blood loss. *J Reprod Med* 1988;33:293–7
- Gannon MJ, Day P, Hammadich N, Johnson N. A new method for measuring menstrual blood loss and its use in screening women before endometrial ablation. *Br J Obstet Gynaecol* 1996;103:1029–33

17. Magnay JL, Schönicke G, Nevatte TM, O'Brien S, Junge W. Validation of a rapid alkaline hematin technique to measure menstrual blood loss on feminine towels containing superabsorbent polymers. *Fertil Steril*. 2011 Aug;96(2):394–8. doi: 10.1016/j.fertnstert.2011.05.096. Epub 2011 Jun 29. PMID: 21719001.
18. Magnay JL, Nevatte TM, O'Brien S, Gerlinger C, Seitz C. Validation of a rapid alkaline hematin technique to quantify menstrual blood loss in women using menstrual cups. *Fertil Steril*. 2018 Mar;109(3):535–541.e2. doi: 10.1016/j.fertnstert.2017.11.020. PMID: 29566806.
19. Peters A, van Rooijen M, Janssen CAH, Driessen SR, Schoot BC. The alkaline hematin method: a gold standard for evaluation of menstrual blood loss? *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*. 2020 Jan;244:1–8. doi: 10.1016/j.ejogrb.2019.10.020. PMID: 31710920.
20. Higham JM, O'Brien PM, Shaw RW. Assessment of menstrual blood loss using a pictorial chart. *Br J Obstet Gynaecol*. 1990 Aug;97(8):734–9. doi: 10.1111/j.1471-0528.1990.tb16249.x. PMID: 2400752.
21. Hallberg L, Högdahl AM, Nilsson L, Rybo G. Menstrual blood loss—a population study. Variation at different ages and attempts to define normality. *Acta Obstet Gynecol Scand*. 1966;45(3):320–51. doi: 10.3109/00016346609158487. PMID: 5334920.
22. Warner PE, Critchley HO, Lumsden MA, Campbell-Brown M, Douglas A, Murray GD. Menorrhagia II: is the 80-mL blood loss criterion useful in management of menorrhagia? *Am J Obstet Gynecol*. 2004 Jun;190(6):1224–9. doi: 10.1016/j.ajog.2004.02.037. PMID: 15284720.
23. Magnay JL, O'Brien S, Gerlinger C, Seitz C. Pictorial methods to assess heavy menstrual bleeding in research and clinical practice: a systematic literature review. *BMC Womens Health*. 2020 Jan 6;20(1):24. doi: 10.1186/s12905-019-0874-5. PMID: 31900160; PMCID: PMC6944290.
24. Fraser IS, McCarron G, Markham R. A preliminary study of factors influencing perception of menstrual blood loss volume. *Am J Obstet Gynecol*. 1984 Nov 1;150(5 Pt 1):508–12. doi: 10.1016/0002-9378(84)90680-5. PMID: 6496362.
25. Cole SK, Billewicz WZ, Thomson AM. Sources of variation in menstrual blood loss. *J Obstet Gynaecol Br Commonw*. 1971 May;78(5):933–9. doi: 10.1111/j.1471-0528.1971.tb00206.x. PMID: 5098461.
26. Newton JR, Barnard GJ, Collins WP. A rapid method for measuring menstrual blood loss using automatic extraction. *Contraception*. 1977 Mar;15(3):303–12. doi: 10.1016/0010-7824(77)90005-0. PMID: 557911.
27. Magnay JL, O'Brien S, Gerlinger C, Seitz C. Can we measure menstrual blood loss? An overview of the challenges and limitations of existing methods and procedures. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*. 2018 Mar;224:152–160. doi: 10.1016/j.ejogrb.2018.03.001. PMID: 29573612.

© Погодина Екатерина Александровна (katerina0508@inbox.ru); Лобов Антон Викторович (lobov-anton@list.ru);
Иванова Полина Игоревна (ivanova.m.o.r@yandex.ru); Головня Евгений Геннадьевич (evgeniy.golovnya@aliquote.ru);
Сорокина Екатерина Вячеславовна (sorokina-cathrin@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КЛИНИКО-ЛАБОРАТОРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОСТРОЙ ПОСТИНФАРКТНОЙ АНЕРВИЗМЫ СЕРДЦА И ЧАСТОТА ЕЕ ВСТРЕЧАЕМОСТИ У ПАЦИЕНТОВ С ОСТРЫМ КОРОНАРНЫМ СИНДРОМОМ НА ФОНЕ НЕДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ДИСПЛАЗИИ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ

CLINICAL AND LABORATORY FEATURES OF ACUTE POSTINFARCTION CARDIAC ANERVISM AND ITS FREQUENCY IN PATIENTS WITH ACUTE CORONARY SYNDROME ON THE BACKGROUND OF UNDIFFERENTIATED CONNECTIVE TISSUE DYSPLASIA

O. Sultanova
E. Chernysheva
S. Kasatkina
A. Karabasova
B. Deshiev
M. Daudova

Summary. Cardiovascular diseases (CVD) continue to occupy a leading position in the structure of morbidity and mortality. The problem is global, causing significant damage to the health of the population and the socio-economic development of the Russian Federation as a whole. There is no doubt that the widespread prevalence of CVD is related to congenital pathology, which includes undifferentiated connective tissue dysplasia (UCTD) syndrome [1; 3]. According to many authors, UCTD is the background for the appearance and progression of heart and vascular pathology. One of the manifestations of the UCTD anomaly is vascular syndrome, which can be represented by idiopathic dilations of elastic arteries (aorta, pulmonary trunk, etc.); bifurcation — hemodynamic aneurysms [10; 11].

According to coronary angiography, the frequency of detection of coronary artery anomalies in the general population is 0.3–0.8 % [1; 3; 11]. As for the «dysplastic heart», it is represented by the following changes in coronary vessels: topographic anomalies of the coronary arteries, «muscle bridges», aneurysms, ectasia, compression of the mouths of the coronary arteries by an aortic aneurysm, occlusion of the coronary arteries by the exfoliating aortic root [10; 11]. The aneurysmal changes in the coronary arteries considered by the authors, as a manifestation of UCTD, led to a sharp slowdown in coronary blood flow with possible increased thrombosis in conditions of plethoric syndrome (erythrocytosis, hyperhemoglobinemia, increased blood viscosity), which caused the development of acute coronary pathology [3; 10; 11].

Patients with UCTD are at high risk for the development of postinfarction aneurysms. A postinfarction aneurysm is a limited area of thinned scar or fibromuscular tissue with a protrusion of the heart wall of the damaged area.

Султанова Оксана Эседуллаевна

кандидат медицинских наук, ассистент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
oksanka.sultanova@mail.ru

Чернышева Елена Николаевна

доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
lena.chernysheva@inbox.ru

Касаткина Светлана Григорьевна

кандидат медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
SvetlanaAGMA@yandex.ru

Карabasова Асель Сагындыковна

Ассистент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
asel-v@mail.ru

Дешиев Бислан Селимович

Ординатор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Bislan11223344@mail.ru

Даудова Мухминат Магомедовна

Ординатор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
murka.daudova@mail.ru

It is also an indisputable fact that clinical and laboratory changes are very often detected in patients with UCTD: low levels of magnesium (Mg) in the blood, high levels of homocysteine (Hcy) and oxypoline (OP) [4; 5; 9;12; 13].

Keywords: acute coronary syndrome, undifferentiated connective tissue dysplasia, aneurysm, homocysteine, magnesium, oxypoline.

Аннотация. Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) продолжают занимать лидирующую позицию в структуре заболеваемости и летальности. Проблема глобальна, наносит существенный ущерб здоровью населения и социально-экономическому развитию Российской Федерации, в целом.

Не вызывает сомнений факт взаимосвязи широкой распространённости ССЗ с врождённой патологией, к которой относят синдром недифференцированной дисплазии соединительной ткани (СНДСТ) [1; 3]. По мнению многих авторов, СНДСТ является фоном для появления и прогрессирования патологии сердца и сосудов. Одним из проявлений аномалии СНДСТ является сосудистый синдром, который может быть представлен идиопатическими расширениями артерий эластического типа (аорта, легочной ствол и т.д.); бифуркационно-гемодинамическими аневризмами [10; 11].

По данным коронароангиографии, частота выявления аномалий коронарных артерий в общей популяции составляет 0,3–0,8 % [1; 3; 11]. Что касается «диспластического сердца», то оно представлено следующими изменениями коронарных сосудов: топографические аномалии коронарных артерий, «мышечные мостики», аневризмы, эктазии, сдавление устьев коронарных артерий аневризмой аорты, окклюзии коронарных артерий расслаивающимся корнем аорты [10; 11]. Рассматриваемые авторами аневризматические изменения коронарных артерий, как проявление ДСТ, привели к резкому замедлению коронарного кровотока с возможным повышенным тромбообразованием в условиях плеторического синдрома (эритроцитоза, гипергемоглобинемии, увеличения вязкости крови), что стало причиной развития острой коронарной патологии [3; 10; 11].

Пациенты с СНДСТ входят в группу высокого риска по развитию постинфарктных аневризм. Постинфарктная аневризма — это ограниченный участок истонченной рубцовой или фиброзно-мышечной ткани с выпячиванием сердечной стенки поврежденной области.

Неоспоримым фактом так же является то, что у пациентов с СНДСТ очень часто определяют клинико-лабораторные изменения: низкий уровень магния (Mg) в крови, высокий уровень гомоцистеина (Hcy) и оксипролина (OP) [4; 5; 9;12; 13].

Ключевые слова: острый коронарный синдром, недифференцированная дисплазия соединительной ткани, аневризма, гомоцистеин, магний, оксипролин.

Актуальность

Основой для проведения данного исследования послужило отсутствие научных работ по изучению клинико-лабораторных особенностей острой постинфарктной аневризмы сердца и частоты ее встречаемости у пациентов с острым коронарным синдромом на фоне недифференцированной дисплазии соединительной ткани.

Цель исследования: изучение и анализ частоты встречаемости острой постинфарктной аневризмы сердца и её клинико-лабораторных особенностей у пациентов с острым коронарным синдромом на фоне недифференцированной дисплазии соединительной ткани.

Материалы и методы

Клинические данные проведенного исследования были получены в ПСО ГKB №3 имени С.М. Кирова в 2019–

2024 гг. Пациентами были подписаны и предоставлены добровольные информированные согласия об участии в исследовании. Всего был обследован 367 пациент (возраст от 35 до 65 лет). Для постановки диагноза инфаркта миокарда (ИМ) и нестабильной стенокардии (НС) использовались национальные рекомендации РКО [6; 7].

В основную группу вошли 113 пациентов с ОКС на фоне СНДСТ. Группу сравнения составили 202 пациентов с ОКС без НДСТ. Группу контроля представлена 50 соматически здоровыми лицами. Все пациенты были сопоставимы по возрасту и полу.

Определение уровня Mg в плазме крови проводилось по стандартной методике, указанной в наборе для определения Mg «Симко» с проведением исследования на сертифицированном оборудовании с использованием сертифицированных тест-систем и расходных материалов.

Диагностика СНДСТ проводилась на основании клинических рекомендаций [3]: клиническая часть — анкетирование по Елыкомову В.А. и Копылову А.Н. (обнаружение 6 и более стигм дисэмбриогенеза) [8]; лабораторная часть — проводилось определение уровня антител человека к коллагенам II и III типа методом ИФА (оксипролин) с помощью коммерческой тест системы (каталожный номер SEA808Ge фирмы «Иммунотэкс», г. Ставрополь, Ставропольский край), согласно прилагаемой к ней инструкции.

Статистический анализ результатов проводили на IBM с использованием статистической программы STATISTICA 28.0 и StatTech v.3.1.8.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования нами было выявлено, что частота встречаемости острой постинфарктной аневризмы сердца при ОКС на фоне СНДСТ составила 41,6 %, что в 4 раза чаще, чем у пациентов без дисплазии (10,7 %). Так же мы установили, что у пациентов с острой постинфарктной аневризмой сердца на фоне СНДСТ гипоплазия коронарных артерий встречалась в 8 раз чаще, а аномалии расположения коронарных артерий с наличием «мышечных мостиков» в 6 раз чаще, чем у пациентов без дисплазии.

Далее мы изучили частоту развития острой постинфарктной аневризмы сердца у пациентов с ОКС в зависимости от степени тяжести дисплазии соединительной ткани, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Острая постинфарктная аневризма сердца у пациентов с ОКС в зависимости от степени тяжести СНДСТ, n = 113

Показатель	Группа ОКС с СНДСТ		
	1 степень (n = 17)	2 степень (n = 54)	3 степень (n = 42)
Острая постинфарктная аневризма	1 (6 %)	19 (36 %)	25 (59 %)

Острая постинфарктная аневризма сердца встречалась статистически значимо чаще у пациентов с ОКС и 3 степенью тяжести СНДСТ, чем у пациентов с ОКС 2 и 1 степенями тяжести СНДСТ (p = 0,001).

В своей работе мы определили и дали сравнительную характеристику Нсу у пациентов с ОКС и острой постинфарктной аневризмой сердца в зависимости от наличия СНДСТ, таблица 2.

Уровень Нсу в группе пациентов ОКС с СНДСТ составил 49,6 [29,2; 54,3] мкмоль/л, что значимо выше по сравнению с группой пациентов ОКС, где уровень Нсу — 21,2 [17,2; 27,3] мкмоль/л (p < 0,001).

Таблица 2.

Уровень Нсу у пациентов с острой постинфарктной аневризмой сердца, n = 55

Показатель	Группа ОКС (n = 14)	Группа ОКС с СНДСТ (n = 41)
Нсу, мкмоль/л	21,2 [17,2; 27,3]	49,6 [29,2; 54,3] p < 0,001

Примечание: p — уровень статистической значимости различий между группой пациентов с ОКС и постинфарктной аневризмой группой пациентов и ОКС с СНДСТ и постинфарктной аневризмой p < 0,0001.

Низкий уровень Мг встречался в 2,5 раза чаще у пациентов с ОКС на фоне СНДСТ в сравнении с пациентами с ОКС — 95 % и 40 %, соответственно.

При анализе уровня Мг у пациентов с ОКС и постинфарктной аневризмой сердца в зависимости от наличия СНДСТ получены результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3.

Уровень Мг у пациентов с острой постинфарктной аневризмой сердца, n = 55

Показатель	Группа ОКС (n = 14)	Группа ОКС с СНДСТ (n = 44)
Мг, ммоль/л	0,85 [0,83; 0,88]	0,67 [0,65; 0,69], p < 0,001

Примечание: p — уровень статистической значимости различий между группой пациентов с ОКС и острой постинфарктной аневризмой и пациентов ОКС с СНДСТ и острой постинфарктной аневризмой, p < 0,001.

В группе пациентов ОКС с СНДСТ и острой постинфарктной аневризмой уровень Мг составил 0,67 [0,65; 0,69] ммоль/л, что было статистически значимо ниже по сравнению с группой пациентов ОКС, у которых уровень Мг составил 0,85 [0,83; 0,88] ммоль/л (p < 0,001).

При проведении корреляционного анализа между изучаемыми клинико-лабораторными показателями и наличием острой постинфарктной аневризмы получены результаты, представленные в таблице 4.

Проводя корреляционный анализ между показателями: острой постинфарктной аневризмой и ЛПНП, в группе пациентов как с ОКС, так и в группе пациентов с ОКС с СНДСТ была выявлена прямая значимая связь, однако, у пациентов с ОКС взаимосвязь была сильная, а в группе пациентов с ОКС с СНДСТ — очень сильная.

При оценке корреляционных связей между уровнем ОР, Нсу и острой постинфарктной аневризмой в исследуемых группах нами выявлена значимая связь средней силы в группе пациентов с ОКС и очень сильная в группе пациентов с ОКС с СНДСТ.

Анализируя корреляционную связь острой постинфарктной аневризмы сердца с Мг, мы получили сле-

Таблица 4.

Корреляционные связи между изучаемыми показателями и острой постинфарктной аневризмой сердца в исследуемых группах, n = 55

Показатель	Группа ОКС (n = 14)	Группа ОКС с СНДСТ (n = 44)
ЛПНП	r = 0,84, p*	r = 0,91, p*
ОР	r = 0,72, p*	r = 0,93, p*
Нсу	r = 0,76, p*	r = 0,90, p*
Mg	r = 0,69, p*	r = 0,92, p*
САД	r = 0,78, p*	r = 0,91, p*
ДАД	r = 0,80, p*	r = 0,90, p*
Ожирение	r = 0,75, p	r = 0,77, p
Курение	r = 0,71, p	r = 0,73, p

Примечание: p* — уровень статистической значимости <0,001; r — коэффициент корреляции.

дующие результаты: среди пациентов с ОКС выявлена значимая слабая связь, а в группе пациентов с ОКС с СНДСТ — очень сильная.

Также, мы установили наличие статистически значимых корреляционных связей между уровнями САД, ДАД и острой постинфарктной аневризмой: среди пациентов с ОКС выявлена значимая сильная связь, а в группе пациентов с ОКС с СНДСТ — очень сильная.

Заключение

При анализе полученных нами результатов оказалось, частота встречаемости острой постинфарктной аневризмы сердца при ОКС на фоне СНДСТ составила 41,6 %, что в 4 раза чаще, чем у пациентов без дисплазии (10,7 %). Таким образом, мы можем сделать вывод, что СНДСТ вносит неблагоприятный вклад в развитие патологии сердца и сосудов.

По данным нашего исследования у пациентов с острой аневризмой на фоне СНДСТ гипоплазия коронарных артерий встречалась в 8 раз чаще, а аномалии расположения коронарных артерий с наличием «мышечных мостиков» в 6 раз чаще, чем у пациентов без дисплазии, что подтверждает существенный вклад сосудистого компонента, наряду с наличием аномального коллагена, в развитие аневризмы у данных пациентов.

В своей работе мы определили, что острая постинфарктная аневризма сердца встречалась статистически значимо чаще у пациентов с ОКС и 3 степенью тяжести СНДСТ, чем у пациентов с ОКС 2 и 1 степенями тяжести СНДСТ (p = 0,001).

Оценивая клиничко-лабораторные исследования, мы сделали следующие выводы: уровень Нсу в группе пациентов ОКС с СНДСТ составил 49,6 [29,2; 54,3] мкмоль/л, что значимо выше по сравнению с группой пациентов ОКС, где уровень Нсу — 21,2 [17,2; 27,3] мкмоль/л (p <0,001); в группе пациентов ОКС с СНДС и острой постинфарктной аневризмой уровень Mg составил 0,67 [0,65; 0,69] ммоль/л, что было статистически значимо ниже по сравнению с группой пациентов ОКС, у которых уровень Mg составил 0,85 [0,83; 0,88] ммоль/л (p <0,001).

Проводя корреляционный анализ между показателями: острой постинфарктной аневризмой и ЛПНП, в группе пациентов как с ОКС, так и в группе пациентов с ОКС с СНДСТ была выявлена прямая значимая связь, однако, у пациентов с ОКС взаимосвязь была сильная, а в группе пациентов с ОКС с СНДСТ — очень сильная. Мы полагаем, что наличие данной связи можно объяснить следующим образом — у пациентов с СНДСТ исходно имеет место генетически детерминированная высокая жесткость сосудистой стенки из-за выработки аномального коллагена, в таких скомпрометированных сосудах высокий уровень ЛПНП в сыворотки крови приводит к прогрессированию атеросклероза и развитию ОКС с формированием аневризмы.

При оценке корреляционных связей между уровнем ОР, Нсу и острой постинфарктной аневризмой в исследуемых группах нами выявлена значимая связь средней силы в группе пациентов с ОКС и очень сильная в группе пациентов с ОКС с СНДСТ. Наличие очень сильной связи можно объяснить следующим образом — ОР является продуктом деградации коллагена, его высокий уровень — косвенный показатель степени тяжести дисплазии, в нашем исследовании мы установили, что, чем выше степень тяжести дисплазии, тем чаще развивается аневризма. Связь между Нсу и постинфарктной аневризмой сердца основана на недостатке Mg у пациентов с СНДСТ, как следствие, недостаточное поступление витаминов группы В и дезорганизация повторного восстановления Нсу в метионин — развивается гипергомоцистеинемия, обладающая повреждающим действием на клетки сосудов, что приводит к формированию аневризмы при ОКС. Анализируя корреляционную связь острой постинфарктной аневризмы сердца с Mg, мы получили следующие результаты: среди пациентов с ОКС выявлена значимая слабая связь, а в группе пациентов с ОКС с СНДСТ — очень сильная: дефицит магния нивелирует активность магнийзависимой аденилатциклазы и, как следствие, снижает синтеза коллагена, что приводит к формированию аневризмы при ОКС. Также, мы установили наличие статистически значимых корреляционных связей между уровнями САД, ДАД и острой постинфарктной аневризмой: среди пациентов с ОКС выявлена значимая сильная связь, а в группе пациентов с ОКС с СНДСТ — очень сильная: как известно из ли-

тературных источников, высокий уровень САД и ДАД приводит к увеличению жесткости сосудистой стенки и усилению свободно радикальных процессов, что является одним из предрасполагающих факторов в развитии

острой постинфарктной аневризмы при ОКС. Острая постинфарктная аневризма имела значимые корреляции средней силы с ожирением, курением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абашева Е.В. Синдром дисплазии соединительной ткани сердца у призывников. Клинико-функциональные особенности // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. — 2003. — № 2 (прил. 3). — С.4.
2. Бойцов С.А., Шальнова С.А., Деев А.Д. Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в Российской Федерации и возможные механизмы ее изменения // Ж. Невролог им. С. С. Корсаковой. — 2021. — Т. 118, № 8. — С. 98–103. — doi: 10.17116/jnevro201811808198.
3. Клинические рекомендации Российского научного медицинского общества терапевтов по диагностике, лечению и реабилитации пациентов с дисплазиями соединительной ткани (первый пересмотр) / под ред. А.И. Мартынова. — Текст: непосредственный // Медицинский вестник Северного Кавказа. — 2018. — Т. 3, № 1.2. — С. 137–209.
4. Кочнева Е.В. Дефицит магния в клинической практике // Вопросы диетологии. — 2018. — Т. 8, № 1. — С. 37–51.
5. Недогода, С.В. Роль препаратов магния в ведении пациентов терапевтического профиля / С. В. Недогода. — Текст: непосредственный // Лечащий врач. — 2009. — № 6. — С. 16–19.
6. Острый коронарный синдром без подъема сегмента ST электрокардиограммы. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации. — Москва: Российское кардиологическое общество при участии ассоциации сердечно-сосудистых хирургов России, 2020. — С. 12–25.
7. Острый коронарный синдром с подъемом сегмента ST электрокардиограммы. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации. — Москва: Российское кардиологическое общество при участии ассоциации сердечно-сосудистых хирургов России, 2020. — С. 18–22.
8. Патент на изобретение №2665387 Российская Федерация. Способ диагностики дисплазии соединительной ткани: заявл. 04.05.2017: опубл. 29.08.2018 / Елыкомова В.А., Копылова А.Н. — Текст: непосредственный.
9. Султанова, О.Э. Уровень гомоцистеина у пациентов при осложненном и неосложненном течении острого коронарного синдрома на фоне синдрома недифференцированной дисплазии соединительной ткани / О.Э. Султанова, Е.Н. Чернышева, М.А. Киселева, Б.Ю. Кузьмичев. — Текст: непосредственный // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки» — 2021. — № 4. — С. 229–234.
10. Сумин, А.В. Случай большой аневризмы левого желудочка у молодого больного / А.В. Сумин, Е.А. Деветьярова, А.В. Поддубный, И.А. Удовенко // Медицинский вестник Юга России. — 2018. — № 9 (1). С. 109–112.
11. Тюрин, В. Аневризмы восходящего отдела аорты с недостаточностью аортального клапана / В. Тюрин. — Текст: непосредственный // Врач. — 2002. — № 5. — С. 21–23.
12. Шахматова, О.О. Нарушение обмена гомоцистеина как фактор риска развития сердечно-сосудистых заболеваний: влияние на прогноз и возможности медикаментозной коррекции / О.О. Шахматова, А.Л. Комаров, Е.П. Панченко. — Текст: непосредственный // Кардиология. — 2010. — № 1. — С. 42–50.
13. Brugada, P. Magnesium: an antiarrhythmic drug, but only against very specific arrhythmias / P. Brugada. — Text: direct // Eur Heart J. — 2000. — № 21 (14). — P. 1116.

© Султанова Оксана Эседуллаевна (oksanka.sultanova@mail.ru); Чернышева Елена Николаевна (lena.chernysheva@inbox.ru); Касаткина Светлана Григорьевна (SvetlanaAGMA@yandex.ru); Карабасова Асель Сагындыковна (asel-v@mail.ru); Дешиев Бислан Селимович (Bislan11223344@mail.ru); Даудова Мухминат Магомедовна (murka.daudova@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ХИРУРГИЧЕСКАЯ ТАКТИКА ОДНОМОМЕНТНОГО ЛЕЧЕНИЯ ДВУХСТОРОННЕЙ БУЛЛЕЗНОЙ ЭМФИЗЕМЫ ЛЕГКИХ

SURGICAL TACTICS OF ONE-STAGE TREATMENT OF BILATERAL BULLOUS PULMONARY EMPHYSEMA

**A. Khmara
S. Kapralov
M. Polidanov
D. Bazarov
K. Volkov
R. Petrunkin**

Summary. The proposed technique not only reflects all the advantages of currently performed minimally invasive interventions in bullous emphysema, but also allows to reduce the duration of surgical treatment, the severity of pain syndrome in the postoperative period, reduce the incidence of intra— and postoperative complications, the length of stay of the patient in hospital. And, what is not unimportant, it has a preferential cosmetic effect, and also allows to reduce the costs of treatment of this category of patients.

Keywords: bullous emphysema, bilateral bullous emphysema, minimally invasive thoracoscopic surgeries, one-stage treatment, postoperative recovery of patients, quality of life.

Хмара Артём Дмитриевич

к.м.н., врач-хирург торакального хирургического отделения, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского
premdania@yandex.ru

Капралов Сергей Владимирович

д.м.н., доцент, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского
sergejkapralov@yandex.ru

Полиданов Максим Андреевич

Советник Российской Академии Естествознания (РАЕ), специалист научно-исследовательского отдела, ассистент, Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru

Базаров Дмитрий Владимирович

д.м.н., заведующий отделением торакальной хирургии и онкологии, Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского, г. Москва

Волков Кирилл Андреевич

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России
kvolee@yandex.ru

Петрунькин Родион Павлович

Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
rodyj16@mail.ru

Аннотация. Предложенная методика не только отражает все преимущества выполняемых в настоящий момент малоинвазивных вмешательств при буллезной эмфиземе, но и позволяет сократить длительность оперативного лечения, выраженность болевого синдрома в послеоперационном периоде, снизить частоту интра- и послеоперационных осложнений, длительность пребывания пациента в стационаре. И, что не маловажно, имеет преимущественный косметический эффект, а также позволяет сократить затраты на лечение данной категории больных.

Ключевые слова: буллезная эмфизема, двухсторонняя буллезная эмфизема, миниинвазивные торакоскопические операции, одномоментное лечение, послеоперационное восстановление пациентов, качество жизни.

Введение

Буллезная эмфизема легких встречается у 10–12 % населения старше 30 лет. Терминологически различают буллезную болезнь легких и буллезную эмфизему. Наличие одной или большего числа булл на фоне неизменной легочной ткани носит название буллезной болезни, буллезная эмфизема характеризуется наличием булл на фоне диффузной эмфиземы легких [2].

Осложнением данной патологии выступает пневмоторакс, как первичный, так и рецидивирующий. Что, чаще всего, является триггером для дополнительного обследования пациента [7, 8, 11, 12].

Анализ литературы указывает, что на современном этапе подходов к выбору лечебной тактики данной категории больных множество: от консервативного лечения до двусторонних резекций апикальных сегментов лег-

ких с профилактической целью [3, 6]. Также дискуссионным и нерешенным остается вопрос объема и сроков выполнения оперативного вмешательства [7, 11, 13-16].

Целью исследования стало рассмотрение хирургической тактики одномоментного лечения двухсторонней буллезной эмфиземы легких.

Материалы и методы исследования

Для анализа использовались различные базы данных, такие как MedLine, Science Direct, PubMed и eLIBRARY.ru. Поиск осуществлялся по ключевым словам. Методы исследования включали аналитический анализ и обобщение данных.

Результаты исследования

Многие авторы считают, что показаниями к оперативному лечению являются: рецидивирующий, двусторонний или ригидный пневмоторакс, несостоятельность аэростаза после дренирования плевральной полости (более 3–5 дней), а также спонтанный гемопневмоторакс [1–3, 7, 13, 17] и двухстороннее буллезное поражение легких.

Противопоказаниями к оперативному лечению можно отнести: продолжающееся курение, тяжелые сердечно-сосудистые заболевания, обуславливающие высокий анестезиологический риск, диффузная эмфизема с малым сдавлением окружающей легочной ткани, фактором риска является перенесенное ранее оперативное лечение на легком, а также анемия и пожилой возраст [2, 19, 20].

В ходе изучения литературных источников мы пришли к выводу, что выбор операции зависит от целого ряда обстоятельств. Буллэктомия проводится при относительно неизменной окружающей легочной ткани и дополняется плевродезом. Плевродез без резекции буллезно-измененных участков легкого рекомендуется проводить при диффузном поражении [2, 22], двухсторонняя резекция легких показана преимущественно при поражении верхних долей легких, либо множественное буллезное поражение одного легкого в сочетании с буллами верхней доли с контрлатеральной стороны.

Видеоторакоскопия в настоящий момент является операцией выбора при данной патологии. Она имеет множество преимуществ перед открытыми вариантами оперативного лечения — менее травматична, позволяет произвести более тщательную ревизию плевральной полости и легкого, значительно снижает вероятность интра- и послеоперационных осложнений и период нетрудоспособности. [7, 13, 18, 21, 23]. На современном этапе развития торакальной хирургии это наиболее оп-

тимальный метод, что подтверждается большим числом публикаций [4, 24, 25, 26]. Также к достоинствам методики, несомненно, следует отнести лучший косметический эффект и более легкую переносимость вмешательства пациентами. Но и традиционная торакотомия достаточно часто используется и в настоящее время, что связано с практикой и рекомендациями в отдельных клиниках [13, 14].

Внедрение в современную практику видеоторакоскопических вмешательств имеет ряд преимуществ по сравнению со стандартными операциями: сокращает длительность операции, дренирования плевральной полости и пребывания пациентов в стационаре. Слабая выраженность болевого синдрома позволяет снизить кратность и длительность введения обезболивающих препаратов в послеоперационном периоде. Отсутствие интраоперационных осложнений и незначительное число осложнений в послеоперационном периоде указывают на высокую эффективность и возможность широкого применения этой методики в торакальной хирургии [4].

Учитывая широкое внедрение ВТС операций в последние годы, торакальные хирурги предпринимают многочисленные попытки оптимизировать хирургический подход к лечению. Разрабатываются варианты оперативного лечения двусторонних буллезных изменений, особенно при рецидивирующем пневмотораксе [27].

Большинство авторов выполняют одномоментную двухстороннюю резекцию булл через стернотомию, торакотомию или путем последовательных видеоассистированных торакоскопических (далее — VATC) операций или торакотомий. Сроки выполнения операций определяются индивидуально в зависимости от общего состояния больного, характера течения послеоперационного периода (после первого этапа операции) и интенсивности восстановления функциональных резервов сердечно-легочной системы. По мнению многих авторов сроки между операциями у больных с двухсторонними процессами должны составлять 4–6 месяцев.

Проведенный нами анализ литературных данных отечественных и зарубежных источников по профильной специальности показал, что одномоментной односторонней резекции обоих легких в настоящее время посвящено очень мало работ. Тем не менее, предварительные результаты говорят о неплохих отдаленных исходах после данных видов вмешательств.

Одномоментная двухсторонняя экономная резекция легких из трансстерального доступа осуществляется путем полного продольного рассечения грудины, в результате чего доступ в обе плевральные полости достаточен для любых манипуляций. Однако в послеоперационном периоде присутствует одышка, болевой синдром

достаточной интенсивности, что обусловлено травматичностью из-за большой протяженности рассечения грудины, наличие определенного числа осложнений, связанных с длительностью заживления грудины, а также плевральных — в виде плевритов. При этом сохраняется функция откашливания мокроты, что связано с тем, что ребра и мышцы грудной стенки не травмируются, не нарушается механика дыхания [9].

Известен способ одномоментной двухсторонней резекции легких из одностороннего межреберно-средостенного доступа [10]. Данная методика предполагает стандартную переднее-боковую торакотомию в 4–5 межреберье на стороне большего поражения, с последующим осуществлением резекции легкого на стороне торакотомии. После чего проводится оценка состояния больного, основных функциональных параметров. Следующим этапом рассекают медиастинальную плевру параллельно диафрагмальному нерву и спереди от него, начиная от нижнего края хряща 2 ребра и до диафрагмы с разрушением стернокардиальных и стерноплевральных связок переднего средостения, рассекают контрлатеральную медиастинальную плевру, тем самым осуществляя доступ к противоположной плевральной полости.

Существует похожая тактика операции, но доступ в контрлатеральную плевральную полость формируется путем заднего трансмедиастинального подхода. Предусматривающего рассечение плевры между блуждающим нервом спереди и корнем легкого вверху и перикардом внизу от уровня дуги непарной вены, с последующим препарированием пищевода от перикарда и корня легкого, с отведением его кзади с рассечением противоположной медиастинальной плевры кпереди от противоположного блуждающего нерва.

Оба способа обладают преимуществами полноценной оценки обеих плевральных полостей и осуществлением любых необходимых хирургических манипуляций. В тоже время они достаточно травматичны — начиная от широкой торакотомии до большой травматизации органов средостения и высокой вероятности повреждения как самих органов, так и сопровождающих их сосудистых и нервных структур.

По мнению зарубежных авторов, одномоментные ВТС вмешательства при синхронном двустороннем поражении легких являются безопасными и доступными [29].

Разрабатывается метод резекции обоих легких посредством субксифоидального доступа [28]. Эта методика позволяет осуществить должный объем хирургических манипуляций на легких. Но требует как наличия специальных навыков её выполнения, так и специального инструментария, а также наиболее подходит для

осуществления операций на нижних отделах легких. И опять же сопровождается травматизацией органов средостения в проекции грудобрюшной преграды.

С целью оптимизации лечения больных нами была разработана методика одномоментной двухсторонней резекции булл из одностороннего доступа [34], что значительно сокращает сроки лечения и реабилитации больных с буллезной эмфиземой.

Данный способ осуществляется путем проведения видеоторакоскопии со стороны наибольшего поражения легкого буллами, при наличии аналогичной патологии в верхних отделах контрлатерального легкого. В положении больного на боку осуществляется установка трёх торакопортов в плевральную полость в 4 межреберье по передней аксилярной линии и двух портов в 4 и 7 межреберьях по задней подмышечной линии. Осуществляется визуализация плевральной полости и легкого. Выполняется резекция буллезно-измененной легочной ткани при помощи эндоскопических сшивающих аппаратов. В дальнейшем рассекается медиастинальная плевра выше диафрагмального нерва и вдоль него от уровня непарной вены до перикарда, а также вдоль грудины. Переднее средостение тупым способом расширяется эндоскопическими инструментами, этому способствует нагнетание в плевральную полость CO₂. Далее вскрывается контрлатеральная медиастинальная плевра. При этом дефект в ней расширяется так, чтобы была возможность полноценной визуализации верхней доли легкого. Выявленная пораженная часть легкого отсекается аппаратным способом.

Проводится плевродез (коагуляционный), дополненный разработанной нами методикой [35] с воздействием на оба плевральных листка. В начале с противоположной стороны, а после — со стороны операции. Оперативное вмешательство завершается дренированием плевральной полости со стороны операции на жидкость и воздух (через торакопорты). Установка дренажей проводится под видеоконтролем.

Данный способ имеет множество преимуществ по сравнению с другими. Использование способа одномоментной трансмедиастинальной двухсторонней резекции буллезно-измененной ткани верхних долей легких с обеих сторон из одностороннего торакоскопического доступа позволяет выполнить полноценное оперативное лечение обоих легких. Это позволяет значительно сократить сроки госпитализации; избежать дополнительной травматизации, как при последовательном двухстороннем вмешательстве. Исключает необходимость повторной госпитализации, что положительно сказывается на психоэмоциональном фоне пациентов. Отпадает необходимость проведения повторной анестезии и, соответственно, уменьшается ве-

роятность возникновения сопряженных с этим осложнений. Имеет лучший косметический эффект. Значительно снижается интенсивность и продолжительность болевого синдрома. А применение плевродеза по разработанной методике практически исключает послеоперационные осложнения в виде пневмоторакса.

Обсуждение результатов

Множество авторов уверены, что при наличии буллезной патологии пациенту показано оперативное лечение, направленное как на ликвидацию патологических изменений, так и на предупреждение возможных осложнений данной патологии. С целью сокращения длительности оперативного вмешательства, выраженности болевого синдрома в послеоперационном периоде, снижения частота интра- и послеоперационных осложнений, длительности пребывания пациента в стационаре в настоящее время преимущественно используются миниинвазивные ВТС операции [4]. Разработаны и успешно применяются однопортовые, двухпортовые и видеоассистированные операции, а также одномоментные резекции обоих легких, в том числе из одностороннего доступа.

Применение малоинвазивных оперативных вмешательств позволяет не только уменьшить длительность самой операции, но и снизить частоту и выраженность интраоперационной травмы. Позволяет добиться быстрого послеоперационного восстановления пациентов, тем самым повысить качество жизни и сократить общие сроки нетрудоспособности [4, 24, 30].

Факторами, сдерживающими развитие малоинвазивной хирургии в настоящий момент являются: необходимость наличия специфического инструментария, включая возможность модернизировать компоненты в зависимости от задач, поставленных перед хирургом;

качественной торакоскопической аппаратуры и должного количества сшивающих аппаратов и расходных компонентов к ним [4, 5, 25, 31].

Заключение

В результате анализа отечественных и зарубежных литературных данных, а также информации о проводимых в настоящий момент экспериментальных исследованиях, мы пришли к выводу, что преимущества и недостатки различных видов ВТС вмешательств не позволяют сформировать единый подход к лечению [4, 24, 32, 33]. Рост количества пациентов с БЭ легких обусловлен оснащённостью стационаров и поликлиник высокотехнологичным оборудованием (КТОГК). Трудности, возникающие при определении метода лечения [6–8], диктуют необходимость разработки новых вариантов торакоскопических операций, позволяющих объединить в себе не только преимущества миниинвазивных методик, но и свести к минимуму количество осложнений, уменьшить травматичность, обеспечить лучший косметический эффект и сократить общие сроки нетрудоспособности.

Таким образом, в ходе изучения отечественной и зарубежной литературы мы пришли к выводу, что преимущества и недостатки различных видов ВТС вмешательств торакальные хирурги активно обсуждают и в настоящее время [12, 33]. Продолжающийся рост количества пациентов с БЭ легких, осложненной СП, в сочетании с трудностями, возникающими при определении метода лечения [14–16], диктуют необходимость разработки миниинвазивных торакоскопических операций, позволяющих уменьшить травматичность, обеспечить лучший косметический эффект, снизить количество осложнений и сократить общие сроки нетрудоспособности. А также мы считаем, что актуален вопрос разработки эффективного способа плевродеза при торакоскопических операциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Бродская О.Н., Поливанов Г.Э. Буллезная эмфизема и буллезная болезнь легких. Практическая пульмонология. 2019; 1: 15–21.
3. Клеткин М.Е. Метод выбора хирургического лечения спонтанного пневмоторакса при буллезной эмфиземе легких (экспериментально-клиническое исследование): диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Курск. 2018; 145 с.
4. Дробязгин Е.А., Чикинев Ю.В., Щербина К.И. и др. Двухпортовые видеоторакоскопические операции при буллезной эмфиземе легких. Эндоскопическая хирургия. 2020; 26 (4): 22–27.
5. Asano H., Ohtsuka T., Noda Y. et al. Risk factors for recurrence of primary spontaneous pneumothorax after thoracoscopic surgery. J Thorac Dis. 2019; 11 (5): 1940–1944.
6. Корымасов Е.А. и др. Анализ ошибок, опасностей и осложнений в лечении спонтанного пневмоторакса. Тольяттинский медицинский консилиум. 2013; 3–4: 44–51.
7. Афендулов, С.А. и др. Современные способы лечения спонтанного пневмоторакса. Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009; 8(1): 58–61.
8. Токтохоев В.А. Современные особенности видеоторакоскопического лечения спонтанного пневмоторакса как осложнения буллезной эмфиземы легкого: систематизированный обзор литературы. Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2016; 1–4 (110): 162–167.

9. Богуш Л.К., Кариев Т.М. и др. Хирургия тяжелых форм туберкулеза легких. Ташкент.: Медицина, УзССР. 1983; 57–58 с.
10. Свинцов А.Е. Материалы научно-практической конференции «Хирургическое лечение туберкулеза и других заболеваний легких». Челябинск, 2001; 79–80 с.
11. Вачев А.Н. Оптимизация хирургической тактики при лечении больных со спонтанным пневмотораксом. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2013; 6: 26–28.
12. Соколов С.А. Пути реализации улучшения качества оказания помощи пациентам с первичным спонтанным пневмотораксом. Эндоскопическая хирургия. 2015; 21 (5): 19–21.
13. Акопов А.Л. и др. Видеоторакокопическая костальная плеврэктомиа при первичном и вторичном спонтанном пневмотораксе. Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. 2012; 11: 15–18.
14. Афендулов С.А. и др. Хирургическая тактика при спонтанном пневмотораксе (с комментарием редколлегии). Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2010; 6: 31–35.
15. Пландовский А.В. Выбор рациональной хирургической тактики у пациентов со спонтанным пневмотораксом. Военная медицина. 2012; 1 (22): 90–94.
16. Соколов С.А. и др. Оригинальный способ тотальной плеврэктомии в радикальном оперативном пособии при первичном спонтанном пневмотораксе. Омский научный вестник. 2014; 1 (128): 60–62.
17. Национальные клинические рекомендации по лечению спонтанного пневмоторакса Рабочая группа по подготовке текста клинических рекомендаций: Проф. Жестков К.Г., доц. Барский Б.Г. (кафедра торакальной хирургии Российской медицинской академии последипломного образования, Москва), к.м.н. Атюков М.А., к.м.н. Пичуров А.А. (Центр интенсивной пульмонологии и торакальной хирургии СПбГБУЗ «ГМПБ №2», Санкт-Петербург). Состав комитета экспертов: Проф. Акопов А.Л. (Санкт-Петербург), проф. Корымасов Е.А. (Самара), проф. Паршин В.Д. (Москва), член-корр. РАМН, проф. Порханов В.А. (Краснодар), проф. Сигал Е.И. (Казань), проф. Разумовский А.Ю. (Москва), проф. Яблонский П.К. (Санкт-Петербург), проф. Stephen Cassivi (Rochester, USA), Академик РАМН, проф. Gilbert Massard (Strasbourg, France), проф. Enrico Ruffini (Torino, Italy), проф. Gonzalo Varela (Salamanca, Spain); под ред. Перельмана М.И., 2018.
18. Десятерик В.И. Выбор метода плевродеза при лечении спонтанного пневмоторакса. Вестник неотложной и восстановительной медицины. 2012; 13 (2): 260–262.
19. Martinez F.J. Evaluation and medical management of giant bullae. Available from: <https://www.uptodate.com/contents/evaluation-and-medical-management-of-giant-bullae> Accessed 2019 Aug 07.
20. Marchetti N., Criner G.J. Surgical approaches to treating emphysema: lung volume reduction surgery, bullectomy, and lung transplantation. Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine. 2015; 36 (4): 592–608.
21. Еженский М.А. Видеоторакокопические вмешательства при лечении спонтанного пневмоторакса. Вестник неотложной и восстановительной медицины. 2013; 14 (3): 336–338.
22. Tschopp J.M., Bintcliffe O., Astoul P. et al. ERS task force statement: diagnosis and treatment of primary spontaneous pneumothorax. The European Respiratory Journal. 2015; 46 (2): 321–335.
23. Sakurai H. Videothoroscopic surgical approach for spontaneous pneumothorax: review of the pertinent literature. World journal of emergency surgery. 2008; 3: 23 p.
24. Chikaishi Y., Kanayama M., Taira A. et al. What is the best treatment strategy for primary spontaneous pneumothorax? A retrospective study. Ann Med Surg (Lond). 2019; 45: 98–101.
25. Cardillo G., Ricciardi S., Rahman N. et al. Primary spontaneous pneumothorax: time for surgery at first episode? J. Thorac Dis. 2019; 11 (9): 1393–1397.
26. Guo H.Y., Pan X.Q., Hu M. et al. Medical Thoracoscopy-Assisted Argon Plasma Coagulation Combined with Electrosurgical Unit for the Treatment of Refractory Pneumothorax in Elderly Patients. Ann Thorac Cardiovasc Surg. 2019. <https://doi.org/10.5761/atcs.0a.19-00017>
27. Xiaojian L., Xiaojin W., Huayong Z. et al. Unilateral single-port thoracoscopic surgery for bilateral pneumothorax or pulmonary bullae, Journal of Cardiothoracic Surgery. 2019; 14: 71 p.
28. Jun W., Meiqing X., Chuankai Z. et al. Clinical analysis of subxiphoid single-port thoracoscopic surgery for simultaneous bilateral lung lesion resection BMC Surgery. 2022; 22: 203 p.
29. Zhe W., Xue Z., Xusheng S. et al. One-stage VATS surgery for synchronous bilateral lung lesion: a safe and feasible procedure. Journal of Cardiothoracic Surgery. 2023; 18. 10.1186/s13019-023-02215-3.
30. Bertolaccini L., Pardolesi A., Brandolini J. et al. Uniportal video-assisted thoracic surgery for pneumothorax and blebs/bullae. J. Vis Surg. 2017; 21 (3): 107.
31. Allain P.A., Carella M., Agrafiotis A.C. et al. Comparison of several methods for pain management after video-assisted thoracic surgery for pneumothorax: an observational study. BMC Anesthesiol. 2019; 19 (1): 120.
32. Mo A. Low-cost of uniportal thoracoscopic surgery for primary spontaneous pneumothorax. Respir Med Case Rep. 2019; 28: 100878.
33. Li X., Wang X., Zhang H., et al. Unilateral single-port thoracoscopic surgery for bilateral pneumothorax or pulmonary bullae. J. Cardiothorac Surg. 2019; 14 (1): 71.
34. Заявка на патент РФ на изобретение № 2024131110 от 16.10.2024. Хмара А.Д., Сухарев Р.В., Капралов С.В., Полиданов М.А., Волков К.А., Петрунькин Р.П., Масляков В.В. Способ одномоментной торакокопической двусторонней резекции легких при буллезной эмфиземе.
35. Заявка на патент РФ на изобретение № 2024131398 от 18.10.2024. Хмара А.Д., Капралов С.В., Полиданов М.А., Мудрак Д.А., Масляков В.В., Волков К.А., Петрунькин Р.П., Бзнуни Л.П., Емельянова И.П., Щербаква Н.С. Способ стимуляции спячного процесса в плевральной полости у лабораторных животных в эксперименте.

© 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 (rodyuj16@mail.ru)
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ХИРУРГИИ И ТРАДИЦИОННОЙ ЛАПАРОСКОПИИ

Эльмаграби Махмуд Хамди

Хирург, СПб ГБУЗ «Городская больница

Святого Великомученика Георгия

Санкт-Петербург

m.elmaghraby@mail.ru

COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF ROBOTIC SURGERY AND TRADITIONAL LAPAROSCOPY

Elmaghraby Mahmoud Hamdy

Summary. The article examines the current state of robotic surgery, presents the prospects for the introduction and development of this method, and compares it with traditional laparoscopy in various aspects. It is noted that high-tech solutions allow performing surgical operations with minimal injuries and improved accuracy. The purpose of this work is a comparative analysis of the effectiveness of the use of robotic surgery and traditional laparoscopy. The main focus is on such characteristics as clinical accuracy, reduced risk of postoperative complications, recovery time after surgery, and cost-effectiveness. The differences in technologies and equipment used in these two methods are analyzed. An overview of global trends in the introduction of robotic systems in modern surgery is also presented. The results of the study show that robotic surgery provides higher accuracy of surgical intervention, reduces the number of complications and accelerates the recovery of patients. However, traditional laparoscopy remains an effective method for less complex operations. When performing such interventions, laparoscopy is more economically beneficial. The possibilities and prospects of using robotic surgery technology in developing countries and the impact of this technology on the healthcare economy are presented.

Keywords: robotic surgery, traditional laparoscopy, minimally invasive surgery, surgical precision, complication reduction, rehabilitation, economic efficiency, global trends, medical technologies, surgical systems.

Аннотация. В статье рассмотрено текущее состояние роботизированной хирургии, представлены перспективы внедрения и развития данного метода, а также проведено сравнение с традиционной лапароскопией в различных аспектах. Отмечается, что высокотехнологичные решения позволяют выполнять хирургические операции с минимальными травмами и улучшенной точностью. Целью данной работы является сравнительный анализ эффективности применения роботизированной хирургии и традиционной лапароскопии. Основное внимание уделено таким характеристикам, как клиническая точность, снижение риска послеоперационных осложнений, время восстановления после операции и экономическая эффективность. Анализируются различия в технологиях и оборудовании, применяемых в этих двух методах. Также представлен обзор глобальных тенденций внедрения роботизированных систем в современной хирургии. Результаты исследования показывают, что роботизированная хирургия обеспечивает более высокую точность оперативного вмешательства, сокращает количество осложнений и ускоряет восстановление пациентов. Однако традиционная лапароскопия остается эффективным методом для менее сложных операций. При проведении таких вмешательств лапароскопия более выгодна с экономической точки зрения. Представлены возможности и перспективы применения технологии роботизированной хирургии в развивающихся странах и влияние этой технологии на экономику здравоохранения.

Ключевые слова: роботизированная хирургия, традиционная лапароскопия, минимально инвазивная хирургия, точность операций, снижение осложнений, реабилитация, экономическая эффективность, глобальные тенденции, технологии в медицине, хирургические системы.

Введение

Современная медицина неустанно развивается, внедряя новые технологии и методики для улучшения лечения пациентов. Одним из наиболее значимых достижений является развитие роботизированной хирургии, которая значительно расширила возможности минимально инвазивных операций. В то же время традиционная лапароскопия, которая уже несколько десятилетий является основой для выполнения минимально инвазивных вмешательств, продолжает оставаться надежным методом хирургической практики. Сравнение этих двух методов — традиционной лапароскопии и роботизированной хирургии — помогает понять, в каких случаях использование роботизированных систем оправдано, а где более эффективна традиционная методика.

В последние годы роботизированные системы результативно применяются становятся стандартом для выполнения многих хирургических вмешательств, включая операции на предстательной железе, желудочно-кишечном тракте и других органах. В данной статье проводится анализ эффективности роботизированной хирургии и традиционной лапароскопии, с фокусом на такие параметры, как точность, безопасность, время восстановления и экономическая эффективность.

Литературный обзор

Технологические различия между традиционной лапароскопией и роботизированной хирургией

Традиционная лапароскопия позволяет хирургам выполнять операции через несколько небольших раз-

резов, используя эндоскоп и минимально инвазивные инструменты. Камера, вводимая в полость организма, позволяет хирургам наблюдать за операционным процессом на мониторе.

Однако существует несколько ограничений, связанных с методом лапароскопической операции. Например, изображение на мониторе остается двухмерным, что снижает точность при манипуляциях с тонкими структурами, такими как сосуды, нервные окончания или малые опухоли. Кроме того, манипуляции инструментами ограничены физическими возможностями хирурга [1].

Устройство лапароскопической камеры может иметь различные характеристики, включая качество разрешения и углы обзора, что также влияет на точность операции. Однако основной проблемой является ограниченная маневренность и невозможность ощущения глубины, что значительно усложняет выполнение сложных операций в ограниченных пространствах [2].

В отличие от традиционной лапароскопии, роботизированная хирургия использует систему манипуляторов, которые повторяют движения хирурга с высокой точностью. Одним из наиболее известных примеров является робот-ассистированная система da Vinci, которая оснащена несколькими роботизированными инструментами и высококачественной камерой с трёхмерным изображением. Технология позволяет хирургу контролировать инструменты с гораздо большей точностью, чем при традиционной лапароскопии [3].

Роботизированные системы также обладают возможностью устранять микродрожания, что особенно важно при выполнении высокоточных операций. Например, при удалении опухоли предстательной железы или сложных нейрохирургических вмешательствах микродрожания руки хирурга могут привести к непредсказуемым последствиям. Роботизированная система даёт хирургу возможность работать с минимальными рисками, улучшая результаты операций [4].

Клинические аспекты эффективности роботизированной хирургии

Одним из значительных преимуществ роботизированной хирургии является способность выполнять операции с высокой точностью. Роботизированная система, оснащенная трёхмерным изображением, позволяет хирургу точно нацелиться на маленькие структуры, такие как сосуды, нервы и опухоли. Благодаря точности минимизируется возможное повреждение окружающих тканей. Современные роботизированные системы также предлагают возможность увеличения изображения, что важно для сложных операций, таких как удаление опухолей вблизи критических структур [5].

Исследования показывают, что роботизированная хирургия может значительно улучшить результаты при проведении операций на органах, расположенных в труднодоступных областях. Например, при удалении опухолей предстательной железы робот da Vinci позволяет уменьшить повреждения нервных окончаний, что снижает риск послеоперационных осложнений и улучшает качество жизни пациента.

Роботизированная хирургия продемонстрировала снижение числа послеоперационных осложнений, в том числе: кровотечений, повреждений тканей, инфекций операционного поля.

Вероятность кровотечений снижается благодаря высокой точности и маневренности инструментов, что позволяет избежать повреждений кровеносных сосудов [6]. Риск повреждения близлежащих тканей и органов при использовании роботизированной системы также уменьшается, поскольку система позволяет точно управлять движениями инструмента и не задевать здоровые ткани [7]. Инфекции операционного поля сокращаются за счет уменьшения размеров разрезов и минимального вмешательства в ткани снижается риск инфицирования [8].

Исследования, проведенные в ряде крупных медицинских центров, показали, что роботизированная хирургия снижает количество повторных операций, особенно при выполнении сложных вмешательств, таких как холецистэктомия и операции на кишечнике [9].

Одной из впечатляющих характеристик роботизированной хирургии является более быстрое восстановление пациентов. Операции с использованием роботизированных систем часто связаны с меньшим травматизмом тканей, что ускоряет процесс восстановления. В одном из исследований было показано, что пациенты, перенёвшие роботизированные операции на кишечнике, восстанавливаются на 25% быстрее, чем те, кто прошел через традиционное вмешательство [10]. Это позволяет пациентам раньше вернуться к нормальной жизни и существенно сокращает длительность пребывания в стационаре, что также снижает общие затраты на лечение [11].

Экономическая эффективность роботизированных хирургических систем

Основной проблемой роботизированной хирургии является высокая стоимость приобретения и обслуживания роботизированных систем. Стоимость одного робота может варьироваться от 2 до 4 миллионов долларов США, что делает его недоступным для многих больниц, особенно в развивающихся странах. Однако исследования показывают, что в долгосрочной перспективе использование роботизированных систем может снизить общие затраты на лечение. Снижение частоты

осложнений и повторных операций, а также более быстрое восстановление пациентов приводят к значительной экономии, что может компенсировать высокие первоначальные затраты [12].

Роботизированная хирургия особенно выгодна при выполнении сложных операций, таких как резекция опухолей печени или легких. Эти вмешательства часто требуют высокой точности и минимизации риска повторных операций, что делает использование роботизированных систем более выгодным. Например, в одной из исследовательских работ было показано, что роботы могут снизить длительность пребывания пациента в больнице на 10–15%, что непосредственно сокращает расходы на медицинское обслуживание [13].

Результаты

Множество крупных клинических испытаний за последние несколько лет продемонстрировали эффективность роботизированной хирургии по сравнению с традиционной лапароскопией. В одном из недавних исследований, опубликованных в журнале *Journal of Robotic Surgery* в 2023 году, было установлено, что роботизированная хирургия снижает частоту осложнений на 20–30 % по сравнению с традиционными методами. В частности, это касается операций на предстательной железе и печени, где высокая точность необходима для предотвращения повреждений близлежащих тканей.

Кроме того, результаты мета-анализа, проведенного в 2023 году, подтверждают, что роботизированные операции позволяют значительно сократить количество послеоперационных инфекций и улучшают заживление тканей. Например, в случае холецистэктомии, операции по удалению желчного пузыря, использование роботизированных систем уменьшает риск травмирования желчных протоков и кровотечений, что приводит к более быстрой реабилитации пациентов.

Мета-анализ, опубликованный в *Surgical Outcomes Journal* в 2023 году, показал, что роботизированная хирургия имеет значительные преимущества в отношении точности и безопасности, особенно при выполнении операций в сложных или труднодоступных зонах. Однако для менее сложных операций, таких как аппендэктомия или операции на варикозных венах, традиционная лапароскопия может оставаться более экономически оправданным выбором. Это связано с тем, что при таких операциях избыточная стоимость роботизированных систем может не оправдывать себя.

Обсуждение

Глобальная перспектива применения технологий

Роботизированная хирургия развивается и совершенствуется, и её использование становится все более

распространенным в медицинских учреждениях по всему миру. Однако, несмотря на достижения в области роботизации хирургии, её внедрение в клиническую практику сталкивается с рядом вызовов, главным из которых являются высокие первоначальные затраты на приобретение и обслуживание таких систем.

В таких странах, как США, Великобритания, Германия и Япония, роботизированные хирургические системы уже стали стандартом для выполнения множества хирургических вмешательств. Особенно это касается хирургии, связанной с лечением рака, урологией и гинекологией, где точность и минимизация травм тканей играют решающую роль. Многие крупные медицинские учреждения в этих странах могут позволить себе использование роботизированных систем, что способствует более широкому распространению данной технологии.

Примером эффективного внедрения роботизированной хирургии является система *da Vinci*, которая активно используется в США. Она позволяет значительно повысить точность операций, а также уменьшить риск послеоперационных осложнений, что в свою очередь снижает затраты на медицинское обслуживание. Несмотря на высокие первоначальные инвестиции, продолжительная эксплуатация и уменьшение числа осложнений могут значительно сэкономить средства на долгосрочной основе.

В странах с ограниченными финансовыми ресурсами, таких как Индия, Китай, Южная Корея и многие страны Африки, роботизированные хирургические системы ещё не получили широкого распространения. В этих регионах высокие первоначальные затраты на оборудование и обучение медицинского персонала создают барьеры для использования таких технологий. Несмотря на это, развивающиеся страны предпринимают шаги для уменьшения стоимости таких систем. В Индии и Китае, например, разработаны программы по производству и внедрению недорогих роботизированных систем, что может способствовать более широкому распространению роботизированной хирургии в этих регионах [16].

Кроме того, для распространения роботизированных технологий в развивающихся странах важным аспектом является обучение специалистов. Компании-производители роботизированных систем активно работают над созданием программ для обучения хирургов, что способствует увеличению доступности данных технологий даже в странах с низким уровнем медицинской инфраструктуры.

Для операций, требующих высокой точности и выполнения сложных манипуляций, таких как резекции опухолей, особенно в области таза или легких, роботизированные технологии оказываются более выгодными,

несмотря на высокие первоначальные затраты. Эти вмешательства требуют точности, маневренности и способности выполнять движения с высокой точностью, что и обеспечивают роботизированные системы.

Заключение

В заключение, можно сказать, что роботизированная хирургия представляет собой значительный прогресс в области медицинских технологий. Система da Vinci и другие роботизированные устройства предоставляют хирургам возможность работать с высокой точностью и минимизировать риски, связанные с повреждением окружающих тканей, нервов и сосудов. Это особенно важно при выполнении сложных операций, таких как резекция опухолей, операции на предстательной железе и при других вмешательствах, требующих высокой точности.

Несмотря на высокую стоимость оборудования и потребность в обучении специалистов, роботизированная хирургия имеет явные преимущества в сравнении с традиционной лапароскопией, включая более быстрое восстановление пациентов, меньшее количество осложнений и повышение общей безопасности операций. В то же время, для менее сложных операций традиционная лапароскопия остаётся более экономически выгодным методом.

С учетом продолжающегося развития технологий и снижения стоимости роботизированных систем в ближайшие годы, можно ожидать, что роботизированная хирургия будет становиться всё более доступной и распространённой. Это откроет новые возможности для медицинских учреждений по всему миру и позволит улучшить качество хирургического лечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патель В., Смит Р., Сатава Р. Роботизированная хирургия: прогресс и перспективы // *Анналы хирургии*. — 2025.
2. Ли Дж., Макаров Д. Экономический и клинический эффект роботизированной хирургии // *Хирургические инновации*. — 2022.
3. Европейская ассоциация эндоскопической хирургии. Руководство по лапароскопической хирургии. — 2023.
4. Intuitive Surgical Inc. Клинические результаты: Роботизированная терапия против Лапароскопическая хирургия. — 2024.
5. Джонсон М., Ли С. и др. Сравнение результатов роботизированной и лапароскопической холецистэктомии // *Журнал роботизированной хирургии*. — 2023.
6. Смит Р. и др. Хирургические инновации и роботизированная хирургия в лечении рака // *Журнал онкологической хирургии*. — 2024.
7. Робертс П. и др. Результаты роботизированной и лапароскопической хирургии при колоректальных вмешательствах // *Журнал Surgical Outcomes*. — 2022.
8. *Журнал Surgical Outcomes*, сравнительный анализ роботизированной и традиционной хирургии. — 2023.
9. Исследовательская группа по роботизированной хирургии, мета-анализ результатов роботизированной хирургии. — 2023.
10. Ли, Дж. и др. Роботизированный против Лапароскопическая хирургия: клинический обзор // *Хирургические обзоры*. — 2023.
11. *Журнал роботизированной хирургии*, Экономическое влияние роботизированной хирургии на системы здравоохранения. — 2023.
12. Смит Т., Патель В. и др. Достижения в роботизированной хирургии // *Журнал хирургических исследований*. — 2024.
13. Смит, М.Л. Экономическая эффективность роботов по сравнению с другими технологиями. Традиционная хирургия // *Обзор экономической хирургии*. — 2022.
14. Робертс М. и др. Робототехника в урологии: анализ экономической эффективности // *Журнал урологической хирургии*. — 2024.
15. Ван Ю., Чжоу К. и др. Сравнительная эффективность робототехники по сравнению с другими методами лечения. Лапароскопическая хирургия при резекции рака // *Международный журнал хирургической онкологии*. — 2023.
16. Чжан З. и др. Технологические инновации в роботизированной хирургии: прошлое, настоящее и будущее // *Журнал медицинской робототехники*. — 2023.
17. Браун Л. и др. Роботизированная хирургия: обзор последних разработок и перспективы на будущее // *Обзор хирургических технологий*. — 2022.
18. Кумар С., Шарма П. Роботизированная хирургия в урологии // *Международный журнал урологии*. — 2023.
19. Цудзи Т. и др. Клиническое применение роботизированной лапароскопии в общей хирургии // *Журнал хирургической робототехники*. — 2023.
20. *Международный журнал робототехники в медицине*, обзор роботизированных хирургических систем. — 2024.

© Эльмаграби Махмуд Хамди (m.elmaghraby@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

Наши авторы

Abdullayev A. — Cand. of phis.-math. sc.; Doctorate of Aviation Electronics Scientific Research Institute of Transport and Aviation Space Problems of the National Aviation Academy of Azerbaijan (Baku)

Abduloeva N. — Candidate of Medicine, Deputy Director for Outpatient Work of the State Medical Institution «St. Petersburg Clinical Scientific and Practical Center for Specialized Types of Medical Care (Oncological) named after N.P. Napalkov»

Abualrub Nemr Amin — Graduate student, Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala, Russia

Askerov Z. — PhD student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education National Research Nuclear University MEPhI

Barannik V. — State Technical University—MADI (STU-MADI)

Bazarov D. — Doctor of Medicine Sciences, Head of Thoracic Surgery and Oncology Department, Petrovsky Russian Scientific Center for Surgery, Moscow

Borisov A. — Volgograd State Technical University

Bystrov A. — Ph.D. student, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia

Chernysheva E. — doctor of Medical Sciences, Astrakhan State Medical University Ministry of Health of Russia

Chesalov A. — Candidate of Sciences in Technology, CEO Atlansis Software, Tver

Chiskidov S. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia, Khimki (Moscow Oblast)

Churilov S. — Russian Technological University (MIREA), Moscow

Daudova M. — Resident, «Astrakhan State Medical University» Ministry of Health of the Russian Federation

Deshiev B. — Resident, «Astrakhan State Medical University» Ministry of Health of the Russian Federation

Dudnik M. — Moscow State Technical University names Bauman

Our authors

Dzhumaliev N. — General Director, Limited Liability Company «DSKA ENGINEERING»

Egunov V. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University

Elmaghraby Mahmoud Hamdy — Surgeon, St. Petersburg GBUZ City Hospital of St. George the Great Martyr, Saint Petersburg

Ermakov D. — Doctor of Political Sciences, Doctor of Economics, Candidate of Historical Sciences, Professor, Peoples' Friendship University of Russia

Evdoshenko O. — Ph.D. of Engineering Sciences, assistant professor, MIREA — Russian Technological University (c.Moscow)

Gafarov B. — Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Gavrukov D. — Surgeon, Head of Surgical Department № 4, Yudin City Clinical Hospital, Moscow

Gayevaya E. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Tyumen Industrial University

Golovnya E. — Researcher of the Scientific and Medical Laboratory «Aliquot»

Golubcov A. — PhD, MD, Head of the Oncological Department (head and neck tumors) Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky», Moscow, Russia

Goryachkin B. — candidate of technical Sciences, associate Professor, Moscow State Technical University names Bauman

Gribanova E. — PHD-student, senior lecturer BSU, Minsk

Gurevich Yu. — PhD, Altai State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Ivanova P. — Head of the Clinical Diagnostic Laboratory, Biologist of the Clinical Diagnostic Laboratory of the Scientific and Medical Laboratory «Aliquot» Federal State Budgetary Institution «Research Institute of Vaccines and Serums named after I.I. Mechnikov» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Kamaletdinova K. — Volga Region State University of Telecommunications and Informatics

Kapralov S. — Doctor of Medicine Sciences, associate professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Karabasova A. — Assistant, «Astrakhan State Medical University» Ministry of Health of the Russian Federation

Kasatkina S. — Candidate of Medical Sciences, «Astrakhan State Medical University» Ministry of Health of the Russian Federation

Khakov E. — Graduate Student, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow

Khmara A. — Candidate of Medical sciences, surgeon of thoracic surgical department, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Klyukin N. — Moscow State Technical University names Bauman

Koledinskiy A. — PhD, MD, RUDN University, endovascular surgery, Moscow, Russia

Koryagin S. — Candidate of Technical Sciences, «Moscow State University of Instrument Engineering and Computer Science»

Kozlov D. — Candidate of Medical Sciences, cardiovascular surgeon, State Budgetary Healthcare Institution of the city of Moscow F.I. Inozemtsev City Clinical Hospital of the City of Moscow

Kurbanismailova M. — PhD, Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala, Russia

Kurbanova Z. — Professor, MD, Head of the Department of Faculty Surgery, Chief Freelance Specialist of the Ministry of Health of the Republic of Dagestan in plastic, reconstructive surgery and aesthetic medicine, Certified expert of Roszdravnadzor in plastic surgery, full member of the ROH, ROPRE and ROG, Honored Doctor of the Republic of Dagestan, Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala, Russia

Kurkov V. — Russian Technological University (MIREA), Moscow

Kuzmenko A. — Volgograd State Technical University

Kuzmin N. — MIREA - Russian Technological University

Lobov A. — Medical Director, Doctor of the KLD Scientific and Medical Laboratory «Aliquot» Federal State Budgetary Institution «Research Institute of Vaccines and Serums named after I.I. Mechnikov» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Mabouh Moise Hermann — PhD student, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba

Marinin V. — Russian University of Technology

Markelova A. — Post-graduate student, Moscow City University (MCU)

Maslyakov V. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation; Medical University «Reaviz», Saratov

Mikryukov A. — Postgraduate student, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

Moiseenko V. — Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director St. Petersburg Clinical Research and Practical Center of Specialized Types for Medical Care (Oncological) named after N. P. Napalkov

Mukhortov A. — Russian Technological University MIREA

Mytseva M. — Volga Region State University of Telecommunications and Informatics

Nabiyev R. — Doctor of Techn. Science, Professor; Head of Aviation Electronics Scientific Research Institute of Transport and Aviation Space Problems of the National Aviation Academy of Azerbaijan (Baku)

Nevolin F. — Post-graduate student, Moscow City University (MCU), Moscow, Russia

Nikulin A. — postgraduate student, Peoples' Friendship University of Russia

Nistratov G. — PhD, MD, doctor of the Russian Academy of Medical Sciences, Department of X-ray Endovascular Methods of Diagnosis and Treatment No. 2 of the Branch of the Oncology Center No. 1 of the S. S. Yudin City Clinical Hospital of the Healthcare Department of Moscow

Omarova Kh. — PhD, Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala, Russia

Palianov M. — Russian Technological University (MIREA), Moscow

Palyukh B. — Doctor of Technical Sciences, Professor, TSTU, Tver

Petrunkin R. — University «Reaviz», Saint Petersburg

Pogodina E. — General Director, Biologist of the KLD Scientific and Medical Laboratory «Aliquot» Federal State Budgetary Institution «Research Institute of Vaccines and Serums named after I.I. Mechnikov» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Polidanov M. — Advisor to the Russian Academy of Natural Sciences (RANS), research department specialist, assistant, University «Reaviz», Saint Petersburg

Prohorova V. — PhD, Altai State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Romashkova O. — Doctor of Engineering, Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA), Moscow

Rykov S. — doctor at the Department of X-ray Endovascular Methods of Diagnosis and Treatment No. 2 of the Branch of the Oncology Center No. 1 of the S. S. Yudin City Clinical Hospital of the Healthcare Department of Moscow

Saifiev R. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Tyumen Industrial University

Savelyev A. — Moscow State Technical University names Bauman

Semenyuk T. — postgraduate student, Vladimir State University

Sheraliev A. — Candidate of Medicine, oncologist of the polyclinic department State Medical Institution «St. Petersburg Clinical Scientific and Practical Center for Specialized Types of Medical Care (Oncological) named after N.P. Napalkov»

Sivkov Yu. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Tyumen Industrial University

Skripko O. — Oncologist of the polyclinic department State Medical Institution «St. Petersburg Clinical Scientific and Practical Center for Specialized Types of Medical Care (Oncological) named after N.P. Napalkov»

Sorokina E. — Doctor of Medical Sciences, Head of the Laboratory of Immunity Regulation Mechanisms,

Dermatovenerologist Federal State Budgetary Institution «Research Institute of Vaccines and Serums named after I.I. Mechnikov» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Sultanova O. — candidate of Medical Sciences, Assistant, Astrakhan State Medical University Ministry of Health of Russia

Tashukhozhaeva D. — Candidate of Medical Sciences, Medical University «Reaviz», Saratov

Tyryshkin S. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

Urtnasan Batnasan — Adjunct at the Academy of Management of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow

Volkov K. — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov

Yakupov D. — Volga Region State University of Telecommunications and Informatics Senior Lecturer at the Department of Software Engineering

Zagorulko A. — PhD, MD, Head of the Department of X-ray Endovascular Methods of Diagnosis and Treatment No. 2 of the Branch of the Oncology Center No. 1 of the S. S. Yudin City Clinical Hospital of the Healthcare Department of Moscow

Zavjalov A. — Ph.D., MIREA — Russian Technological University

Zhabina A. — Candidate of Medicine, Physician of Chemotherapy Department, St. Petersburg Clinical Research and Practical Center of Specialized Types for Medical Care (Oncological)

Zhidkov E. — Moscow State Technical University names Bauman

Zimnurov M. — graduate student, Ivanovo State University of Chemical Technology

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 допускаются.
- ◆ 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).