

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 2-2 2025 (ФЕВРАЛЬ)

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

Журнал издается с 2011 года.

### Редакция:

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

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

### Издатель:

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

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

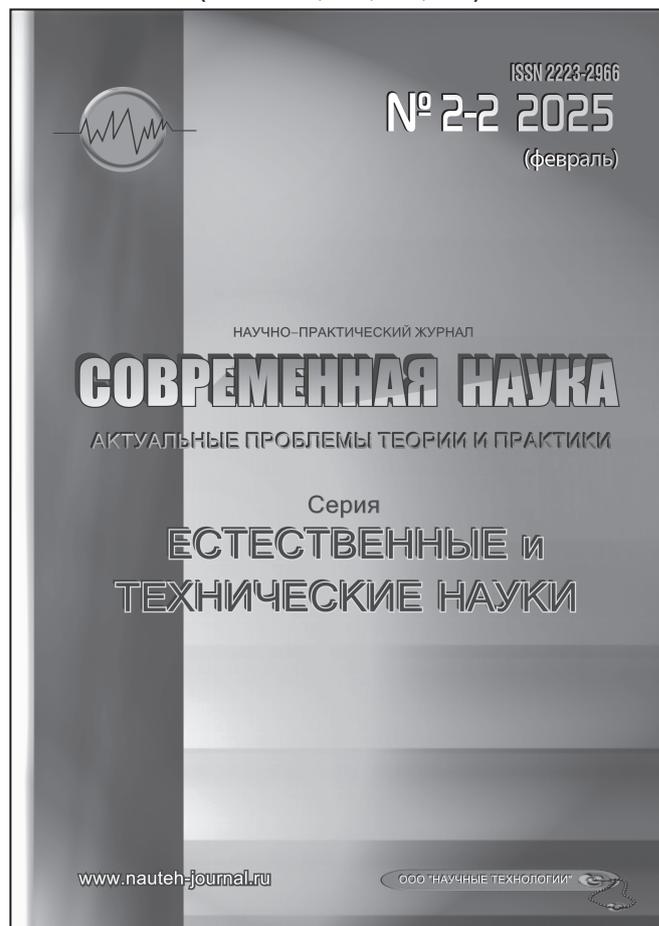
Журнал зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере массовых коммуникаций,  
связи и охраны культурного наследия.

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

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.x, 2.3.x, 3.1.x)



### В НОМЕРЕ:

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

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

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

Журнал отпечатан в типографии  
ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296  
Подписано в печать 25.02.2025 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](mailto:redaktor3@nauteh.ru)

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## Общая биология

**Важов С.В., Важов В.М., Черемисин А.А., Яськов М.И., Харченко Д.О.** — К изучению редких видов соколообразных и сов Верхнеобского лесного массива

*Vazhov S., Vazhov V., Cheremisin A., Yaskov M., Kharchenko D.* — To the study of rare species of falcons and owls of the Verkhneob forest.....7

**Гегер Э.В., Силенок А.В.** — Методы оценки экологического состояния территорий Брянской области во взаимосвязи с показателями здоровья новорожденных

*Geger E., Silenok A.* — Methods of assessing the ecological condition of the territories of the Bryansk region in relation to the health indicators of newborns .....10

**Иванченкова О.А., Лукашов С.В.** —

Экологический мониторинг почвогрунтов береговой линии малых водоемов  
*Ivanchenkova O., Lukashov S.* — Ecological monitoring of soils of the coastline of small water bodies .....15

**Лисовская С.А., Гришин П.О., Филимонова Е.О.** — Анализ эффективности профессиональной гигиены полости рта в отношении микроорганизмов участвующих в формировании биоплёнок на поверхности эмали зубов и ортодонтических конструкций

*Lisovskaya S., Grishin P., Filimonova E.* — Analysis of the effectiveness of professional oral hygiene in relation to microorganisms participating in the formation of biofilm on the surface of teeth enamel and orthodontic constructions .....22

**Ноздрачева Е.В., Авраменко М.В., Чиграй О.Н., Исаев Р.И., Анищенко Л.Н.** — Экомониторинговые описания продукционно-деструкционных процессов в эталонных болотных сообществах Нечерноземья РФ

*Nozdracheva Ye., Avramenko M., Chigray O., Isaev R., Anishchenko L.* — Ecomonitoring descriptions of production-destruction processes in reference marsh communities of the Non-black earth region of the Russian Federation .....31

**Решетник Г.В., Шейко Е.А., Сатаева Т.П., Платонова П.А., Гасанов Г.Х.** — Решение проблем антибиотикорезистентности  
*Reshetnik G., Sheyko E., Sataieva T., Platonova P., Gasanov G.* — Solution of antibiotic resistance problems.....37

## Информатика, вычислительная техника и управление

**Аксенов С.Г.** — Управление организационными системами на основе интеллектуальных информационных технологий: методы и алгоритмы решения управленческих задач с применением искусственного интеллекта  
*Aksenov S.* — Management of organizational systems based on intelligent information technologies: methods and algorithms for solving management problems using artificial intelligence .....42

**Аксенов С.Г., Мугина Е.Р.** — Система управления пожарной безопасностью на нефтеперерабатывающих заводах: интеграция прецедентов и поддержка принятия решений  
*Aksenov S., Muginova E.* — Fire safety management system at oil refineries: use case integration and decision support .....48

**Бектимиров А.А., Ромашкова О.Н., Чискидов С.В.** — Модели организации многомодального взаимодействия пользователей программных систем МЧС России  
*Bektimirov A., Romashkova O., Chiskidov S.* — Models for organizing multimodal user interactions in software systems of EMERCOM of Russia .....54

**Вегера Д.В., Забавин А.С., Новикова А.А., Пархоменко И.С., Похващев Е.О.** — Выбор методов расчета объемов перевозимых лесоматериалов с использованием системы технического зрения  
*Vegera D., Zabavin A., Novikova A., Parkhomenko I., Pokhvashchev E.* — The choice of methods for calculating the volume of transported timber using a vision system.....62

- Веркнер А.С., Горлова К.О., Акимов Д.А., Гурьянова Е.О., Маяк А.А.** — Самодиагностика составных агрегатов блока управления автономным транспортным средством  
*Verkner A., Gorlova K., Akimov D., Guryanova E., Mayak A.* — Self-diagnosis of the components of the control unit of a heavy-duty vehicle. . . . . 69
- Гантц И.С., Бергер Е.Г., Абрамова Н.О.** — Особенности проектирования мобильного модуля информационной системы учета рабочего времени сотрудников на примере компании-разработчика программного обеспечения  
*Gantts I., Berger E., Abramova N.* — Features of designing a mobile module for an employee working time accounting information system using the example of a software development company . . . . . 76
- Гончаров А.В., Лахтин А.А.** — Роботизация производственных процессов: вызовы и перспективы  
*Goncharov A., Lahtin A.* — Robotization of production processes: challenges and prospects . . . . . 79
- Горячкин Б.С., Семенов И.А.** — Эргономический анализ рекомендательных систем на основе метода коллаборативной фильтрации  
*Goryachkin B., Semenov I.* — Ergonomic analysis of recommender systems based on the collaborative filtering method. . . . . 83
- Гущина Д.А.** — Основные этапы построения сценария атаки беспилотного летательного аппарата класса микро и мини на аэродромы базирования авиации  
*Gushchina D.* — Main stages of constructing a scenario for an attack by an unmanned aerial vehicle of the micro and mini class on aviation airfields . . . . . 88
- Дранга Д.И.** — Активное обучение для классификации намерений в контекстном обучении больших языковых моделей  
*Dranga D.* — Active learning for intent classification in in-context learning of large language models . . . . . 92
- Золотухина Д.Ю.** — Выбор технологии передачи данных для высоконагруженных финансовых систем на основе WebSockets, SSE и gRPC  
*Zolotukhina D.* — Choice of data transmission technology for high-load financial systems using WebSockets, SSE, and gRPC. . . . . 98
- Карелова О.Л., Кострова О.Е., Курбанова К.М.** — Анализ эффективности применения моделей машинного обучения в системах обнаружения вторжений  
*Karelova O., Kostrova O., Kurbanova K.* — Analysis of the effectiveness of machine learning models in intrusion detection systems. . . . . 103
- Кузьменко А.В., Киреев В.С.** — Абляционное исследование модели извлечения реляционных троек RESC  
*Kuzmenko A., Kireev V.* — An ablative study of the relational triple extraction model RESC. . . . . 108
- Кузьменко А.В., Киреев В.С.** — Применение генеративных подходов в семантическом анализе текстов на естественном языке  
*Kuzmenko A., Kireev V.* — Application of generative approaches in semantic analysis of natural language texts . . . . . 117
- Неволин Ф.Д., Ромашкова О.Н., Веремейчук Г.С., Чискидов С.В.** — Информационные системы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при построении и развитии ИТ-инфраструктуры холдинговых компаний  
*Nevolin F., Romashkova O., Veremeychuk G., Chiskidov S.* — Information systems for intelligent support of management decisions in the building and development of IT infrastructure of holding companies . . . . . 123
- Огородов Д.В., Иванов Н.Г.** — Микросервисная архитектура: решение для управления цифровыми экосистемами в университетах  
*Ogorodov D., Ivanov N.* — Microservice architecture: a solution for managing digital ecosystems at universities. . . . . 128
- Пелих Д.А.** — Исследование методов и проблем проектирования системы управления дорожным трафиком  
*Pelikh D.* — Methods and problems of designing a traffic management system research . . . . . 134
- Плескачева О.Ю., Прусс Б.Н., Романов В.А.** — Разработка автоматизированной информационной системы акустических расчетов и исследований  
*Pleskacheva O., Pruss B., Romanov V.* — Development of an automated information system for acoustic calculations and research . . . . . 137

- Терешенко А.А.** — Анализ и оптимизация процессов в технических системах с применением обработки текстовых данных  
*Tereshenko A.* — Analysis and optimization of processes in technical systems using text data processing ..... 144
- Титов Д.А., Ромашкова О.Н., Чискидов С.В.** — Анализ информационных решений для глобально распределенной обработки корпоративных данных в системах реального времени с применением облачных технологий  
*Titov D., Romashkova O., Chiskidov S.* — Analysis of information solutions for globally distributed processing of corporate data in real-time systems using cloud technologies ..... 149
- Хомутинников М.А.** — Использование алгоритмов больших данных в CRM-системах  
*Khomutinnikov M.* — Using big data algorithms in CRM systems ..... 154
- Чайка М.О.** — Оптимизация подходов к автоматизации оптоволоконных систем  
*Chaika M.* — Optimization of approaches to automation of fiber-optic systems ..... 158
- Шуркалов П.С., Дорошин А.Н., Иванов Н.А., Переверзев Д.В., Кабанов В.А.** — Исследование областей применения технологий искусственного интеллекта при проектировании и эксплуатации плавучих солнечных электростанций  
*Shurkalov P., Doroshin A., Ivanov N., Pereverzev D., Kabanov V.* — Application of artificial intelligence technologies in the design and operation of floating solar power stations ..... 161
- Клиническая медицина
- Васильцова Н.А., Намоконов Е.В., Яшнов А.А.** — Динамика основных параметров фибрина у больных с тяжелыми формами острого панкреатита  
*Vasil'tsova N., Namokonov E., Yashnov A.* — Dynamics of the main parameters of fibrin in patients with severe forms of acute pancreatitis ..... 166
- Йайа Латифату** — Острое повреждение почек при тропической малярии  
*Yaya Latifatou* — Acute kidney injury in tropical malaria ..... 171
- Кабисова В.И., Сердюков Д.Ю., Попова В.Б.** — Компоненты северного стресса в структуре сердечно-сосудистого континуума (литературный обзор)  
*Kabisova V., Serdyukov D., Popova V.* — Northern stress components in the structure of the cardiovascular continuum (literature review) ..... 175
- Казakov А.Ю., Соколова Н.Ю., Керимханов Р.О., Челебов Э.Э., Меджидов С.Р., Махаури А.Д.** — Оценка степени ишемии нижних конечностей после различных видов коронарного шунтирования у больных с сопутствующим окклюзирующим поражением артерий нижних конечностей  
*Kazakov A., Sokolova N., Kerimkhanov R., Chelebov E., Mejidov S., Makhauri A.* — Determination of the degree of lower limb ischemia after various types of coronary artery bypass grafting in patients with concomitant occlusive lesions of the lower limb arteries ..... 183
- Калашник Д.Н., Филипченко Е.М., Ковригина И.В.** — Анализ нарушений сердечного ритма у пациентов с кардио-респираторной патологией и наличием синдрома обструктивного апноэ сна  
*Kalashnik D., Filipchenko E., Kovrigina I.* — Analysis of cardiac arrhythmia in patients with cardiorespiratory pathology and the presence of obstructive sleep apnea (OSA) ..... 187
- Кещьян Л.В., Ляличкина Н.А.** — Особенности течения родов после проведения программ перинатальной подготовки  
*Keshchyan L., Lyalichkina N.* — Features of the course of childbirth after perinatal training programs ... 194
- Кещьян Л.В., Ляличкина Н.А., Солдатенкова М.Л.** — Влияние программ перинатальной подготовки на уровень тревоги и депрессии у беременных в третьем триместре и родильниц  
*Keshchyan L., Lyalichkina N., Soldatenkova M.* — The impact of perinatal training programs on the level of anxiety and depression in pregnant women in the third trimester and woman after giving birth ..... 198

- Стринкевич А.В., Амарантов Д.Г., Чудинов А.А., Оревкин Е.Б., Баринаева А.С., Денисова П.С., Федачук Н.А.** — Опыт оптимизации условий выполнения эндоскопического гемостаза при язвенных гастродуоденальных кровотечениях  
*Strinkevich A., Amarantov D., Chudinov A., Orevkov E., Barinova A., Denisova P., Fedachuk N.* — Experience in optimizing the conditions for performing endoscopic hemostasis for ulcerative gastroduodenal bleeding ..... 203
- Темрезов М.Б., Темрезов Т.Х., Бадахов А.У., Динаев Р.А.** — Эффективность эндоваскулярной хирургии у пациентов с сахарным диабетом и дистальной формой поражения артерий нижних конечностей  
*Temrezov M., Temerezov T., Badakhov A., Dinaev R.* — Effectiveness of endovascular surgery in patients with diabetes mellitus and distal arterial lesion of the lower extremities ..... 208
- Темрезов М.Б., Темрезов Т.Х., Динаев Р.А., Булгаров Р.С.** — Эффективность ротационной тромбо-атерозектомии устройством Jetstream +PCB лечении острой ишемии нижних конечностей: наш клинический опыт  
*Temrezov M., Temerezov T., Dinaev R., Bulgarov R.* — Effectiveness of rotary thrombo-atherectomy with Jetstream+ device in the treatment of acute lower limb ischemia: our clinical experience ..... 213
- Ханалиев В.Ю., Гусейнова С.Т., Абакаров Т.А., Будайчиев Г.М.-А.** — Влияние ингаляционных кортикостероидов на состояние слизистой оболочки полости рта у пациентов с туберкулезом  
*Khanaliev V., Guseynova S., Abakarov T., Budaichiev G.* — The impact of inhaled corticosteroids on the oral mucosa in patients with tuberculosis ..... 218
- Шило П.С., Макаркина М.Л., Захаренко А.А.** — Комплексное геномное профилирование и молекулярно-направленная терапия у пациентов с распространенными формами солидных опухолей: данные реальной клинической практики  
*Shilo P., Makarkina M., Zakharenko A.* — Comprehensive genomic profiling and molecularly targeted therapy in patients with advanced solid tumors: evidence from real clinical practice ..... 223
- Наши авторы ..... 229

## К ИЗУЧЕНИЮ РЕДКИХ ВИДОВ СОКОЛООБРАЗНЫХ И СОВ ВЕРХНЕОБСКОГО ЛЕСНОГО МАССИВА

### TO THE STUDY OF RARE SPECIES OF FALCONS AND OWLS OF THE VERKHNEOB FOREST

**S. Vazhov**  
**V. Vazhov**  
**A. Cheremisin**  
**M. Yaskov**  
**D. Kharchenko**

**Summary.** The purpose of this work is to supplement modern information about rare feathered predators of the Verkhneobsky forest. The research was carried out mainly in the Bolsherechensky reserve located in the Altai Territory in the lower reaches of the river. Big River. This territory, according to its natural conditions, is typical for this forest area. Based on 4 years of research, it was concluded that during the nesting period the population of rare birds of prey here includes 8 species: crested honey buzzard (*Pernis ptilorhynchus*), greater spotted eagle (*Aquila clanga*), white-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*), peregrine falcon (*Falco peregrinus*), falcon (*Falco vespertinus*), eagle owl (*Bubo bubo*), pygmy owl (*Glaucidium passerinum*), great gray owl (*Strix nebulosa*). The scientific novelty and practical significance of the work lies in replenishing the data bank on rare birds of the Verkhneobsky forest, which should be used to improve measures to protect the biodiversity of the Upper Ob region.

**Keywords:** Altai region, Verkhneob forest, rare species, falcons, owls.

**Важов Сергей Викторович**

канд. биол. наук, доцент,

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический

университет», г. Барнаул

**Важов Виктор Маркович**

доктор с.-х. наук, профессор,

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический

университет», г. Барнаул

vazhov49@mail.ru

**Черемисин Алексей Александрович**

канд. геогр. наук, доцент,

ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет

им. Н.М. Федоровского», г. Норильск

**Яськов Михаил Иванович**

доктор с.-х. наук, профессор,

ФГБОУ ВО «Горно-Алтайский государственный

университет», г. Горно-Алтайск

**Харченко Дарья Олеговна**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический

университет», г. Барнаул

**Аннотация.** Цель данной работы — дополнить современные сведения о редких пернатых хищниках Верхнеобского лесного массива. Исследования проведены в основном в заказнике «Большереченский», расположенном в Алтайском крае в нижнем течении р. Большая Речка. Эта территория по природным условиям является типичной для данного лесного массива. На основе 4-х летних исследований сделано заключение о том, что в гнездовой период население редких хищных птиц включает здесь 8 видов: хохлатый осоед (*Pernis ptilorhynchus*), большой подорлик (*Aquila clanga*), орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*), сапсан (*Falco peregrinus*), кобчик (*Falco vespertinus*), филин (*Bubo bubo*), воробыный сычик (*Glaucidium passerinum*), бородатая неясыть (*Strix nebulosa*). Научная новизна и практическая значимость работы состоит в пополнении банка данных о редких птицах Верхнеобского бора, что должно быть использовано в совершенствовании мероприятий по охране биоразнообразия Верхнего Приобья.

**Ключевые слова:** Алтайский край, Верхнеобской лесной массив, редкие виды, соколообразные, совы.

### Введение

**В**ерхнеобской лесной массив (Верхнеобской бор) постоянно трансформируется вследствие углубляющегося лесохозяйственного и туристско-рекреационного освоения, что приводит к изменению фауны и населения птиц. Основные типы местообитаний в данном лесном массиве: хвойные и смешанные леса, кустарниковые заросли, обширные поляны (зарастающие вырубки), водно-болотные угодья с лесистыми берегами водотоков и водоёмов [1]. Основу древостоя

составляют сосна (*Pinus sylvestris*), берёзы (*Betula pendula* и *B. pubescens*), а также осина (*Populus tremula*). Особенностью данного лесного массива является довольно значительное присутствие лиственницы (*Larix sibirica*), что отличает его от других лесов равнинной части Алтайского края.

Птицы, как самая многочисленная группа наземных позвоночных животных, выполняют в лесах важнейшие экологические функции, быстро реагируют на изменение условий обитания и могут служить наглядными био-

индикаторами состояния экосистем [2]. Тем не менее, население хищных птиц Верхнеобского бора, особенно редких, остаётся малоизученным [1, 3].

Трансформация территории Верхнего Приобья в значительной степени определяет население, распространение и численность представителей орнитофауны, что делает актуальным и своевременным дальнейшее изучение редких видов пернатых хищников Верхнеобского лесного массива.

*Цель работы* — дополнить современные сведения о редких пернатых хищниках Верхнеобского лесного массива.

**Материал и методы исследования**

Полевые работы выполнены в весенне-летние периоды 2012, 2013, 2017 и 2021 гг. на территории Верхнеобского бора в основном в заказнике «Большереченский» и в его окрестностях. Эта территория по природным условиям является типичной для данного лесного массива. Исследования проводились на автомобильных, пеших и водных маршрутах. В работе использовалась стандартная методика маршрутного учёта с неограниченной полосой наблюдения [4, 5, 6, 7]. Названия видов и расположение систематических групп приведено в соответствии с общепринятыми справочниками и определителями [8, 9]. При описании видов применялась балльная шкала численности [7].

Представленные данные носят рекогносцировочный характер и по мере продолжения работ будут дополняться.

**Результаты и обсуждение**

Ниже приводятся сведения о редких хищных птицах Верхнеобского бора в гнездовой период (табл. 1).

**ОТРЯД СОКОЛООБРАЗНЫЕ — FALCONIFORMES**

**Семейство Ястребиные — Accipitridae**

1. Хохлатый осоед (*Pernis ptilorhynchus* (Tetnminck, 1821)). Очень редкий вид. Отмечен только в 2017 году — дважды, по одной особи. Средняя плотность — 0,04 особи/км<sup>2</sup>. Предположительно, в заказнике обитают 1–2 особи хохлатых осоедов.
2. Большой подорлик (*Aquila clanga* (Pallas, 1811)). Редкий вид [12]. Учтены встречи взрослых птиц и найдены их гнездовые участки в 2012, 2013, 2017 и 2021 гг. Исходя из полученных данных, численность подорлика в пределах заказника можно оценить в 10–14 гнездящихся пар. Средняя плотность — 0,19 особей/км<sup>2</sup>.

Таблица 1.

Список птиц Верхнеобского бора с различной категорией редкости

№ пп	Название вида	Категория редкости в Красной книге	
		Российской Федерации [10]	Алтайского края [11]
1	Хохлатый осоед ( <i>Pernis ptilorhynchus</i> )		3 — редкий
2	Большой подорлик ( <i>Aquila clanga</i> )	2 — сокращающийся в численности и/или распространении	3 — редкий
3	Орлан-белохвост ( <i>Haliaeetus albicilla</i> )	5 — восстанавливаемый и восстанавливающийся	3 — редкий
4	Сапсан ( <i>Falco peregrinus</i> )	3 — редкий	1 — находящийся под угрозой исчезновения
5	Кобчик ( <i>Falco vespertinus</i> )	3 — редкий	2 — сокращающийся в численности
6	Филин ( <i>Bubo bubo</i> )	3 — редкий	2 — сокращающийся в численности
7	Воробьиный сычик ( <i>Glaucidium passerinum</i> )		4 — неопределённый по статусу
8	Бородатая неясыть ( <i>Strix nebulosa</i> )		3 — редкий

3. Орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla* (Linnaeus, 1758)). Очень редкий вид [13]. Только 2 орлана попали в поле нашего зрения в 2013 году [3]. Вполне возможно, в пределах заказника гнездится примерно 7–8 пар орланов-белохвостов. Средняя плотность — 0,04 особи/км<sup>2</sup>.

**Семейство Соколиные — Falconidae**

4. Сапсан (*Falco peregrinus* (Tunstall, 1771)). В равнинной части Алтайского края является очень редким видом [14], лишь в 2021 году видели летящую самку. Поведение этого сокола предполагает гнездование в заказнике. Средняя плотность — 0,02 особи/км<sup>2</sup>.
5. Кобчик (*Falco vespertinus* (Linnaeus, 1766)). Вид, сокращающийся в численности [11]. Взрослый самец обнаружен в 2012 году на берегу озера Телеутского в непосредственной близости с заказником.

## ОТРЯД СОВООБРАЗНЫЕ — STRIGIFORMES

## Семейство Совиные — Strigidae

6. Филин (*Bubo bubo* (Linnaeus, 1758)). На территории Алтайского края сокращает свою численность [11]. В 2012 году выявлен гнездовый участок филина в непосредственной близости от границ заказника «Большереченский» [3]. Весьма вероятно гнездование этой совы на территории заказника.
7. Воробьиный сычик (*Glaucidium passerinum* (Linnaeus, 1758)). Редкий вид. Несколько особей наблюдались и учтены по голосу в 2017 и 2021 гг. Средняя плотность — 0,21 особи/км<sup>2</sup>. Численность в пределах заказника возможна на уровне не более 10 сычиков.
8. Бородатая неясыть (*Strix nebulosa* (J.R. Forster, 1772)). В 2012 году отметили взрослую птицу и гнездовой

участок [3], а также нашли жилое гнездо неясыти в старой постройке ястребиной птицы неподалёку от заказника. Предполагается гнездование этой совы в пределах охраняемой территории.

## Заключение

В Верхнеобском лесном массиве на территории заказника «Большереченский» и в его окрестностях летнее (гнездовое) население редких и находящихся под угрозой исчезновения хищных птиц насчитывает 8 видов. Они принадлежат к 2 отрядам и 3 семействам: хохлатый осоед, большой подорлик, орлан-белохвост, сапсан, кобчик, филин, воробьиный сычик и бородатая неясыть.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Заказник Большереченский / сост.: Т.А. Терехина, Т.М. Копытина, Н.В. Овчарова, А.Г. Вотинов, В.Ю. Петров, А.Г. Иноземцев, В.Б. Журавлев, И.В. Андреева // Красная книга Алтайского края. Особо охраняемые природные территории. Барнаул, 2009. С. 38–41.
2. Важов С.В., Важов В.М., Яськов М.И., Черемисин А.А. К изучению географического распространения популяций некоторых редких видов соколообразных и сов в интразональных лесных массивах юга Западной Сибири // Успехи современного естествознания. 2021. № 2. С.88–93. DOI: 10.17513/use.37579
3. Vazhov S.V. Distribution and abundance of carnivorous birds of prey (Falconiformes, Strigiformes) in the valley of the Bolshaya Rechka River (the «Bolsherechensky» state reserve, the Altai Territory, Russia) // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. Vol. 12 (2). P. 1495–1502.
4. Bibby C.J., Jones M. & Marsden S. Expedition Field Techniques. Bird Surveys. London // Royal Geographical Society. 1998. P. 143.
5. Равкин Ю.С., Ливанов С.Г. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск: Наука, 2008. 205 с.
6. Карякин И.В. Пернатые хищники (методические рекомендации по изучению соколообразных и совообразных). Нижний Новгород, 2004. 351 с.
7. Кузякин, А.П. Зоогеография СССР // Ученые записки Московского педагогического университета им. Крупской. М., 1962. Т. 109. Вып. 1. С. 3–182.
8. Коблик Е.А., Редькин Я.А., Архипов В.Ю. Список птиц Российской Федерации. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 256 с.
9. Рябцев В.К. Птицы Сибири. М.—Екатеринбург: Изд-во «Кабинетный ученый», 2014. Т. 1. 438 с.
10. Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. 1128 с.
11. Красная книга Алтайского края. Т. 2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных. 3-е изд., переработ. и доп. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2016. 312 с.
12. Важов С.В., Мацюра А.В., Важов В.М. Большой подорлик *Aquila clanga* в Алтайском крае и Республике Алтай // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 3. С. 63–77. DOI:10.18470/1992–1098–2022 –3–63–77
13. Важов С.В., Важов В.М., Черемисин А.А., Гребенников О.Р., Яськов М.И., Штехман А.И. Орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*) в Алтайском крае и Республике Алтай // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 4. С. 7–11. DOI 10.37882/2223–2966.2022.04.06
14. Важов С.В. Сапсан *Falco peregrinus* в Алтайском крае и Республике Алтай // Русский орнитологический журнал. 2020. Т. 29 (1973). С. 4235–4252.

© Важов Сергей Викторович; Важов Виктор Маркович (vazhov49@mail.ru); Черемисин Алексей Александрович; Яськов Михаил Иванович; Харченко Дарья Олеговна  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ЗДОРОВЬЯ НОВОРОЖДЕННЫХ

## METHODS OF ASSESSING THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE TERRITORIES OF THE BRYANSK REGION IN RELATION TO THE HEALTH INDICATORS OF NEWBORNS

**E. Geger  
A. Silenok**

*Summary.* As a result of the conducted research, aggregated risk assessments of the effects of chemical and radioactive pollutants of atmospheric air on the environment were obtained using expert assessment. Integral indicators of environmental pollution in the districts of the Bryansk region were built.

The use of the methodology of integral criteria for each type of pollution contributed to the determination of the ecological state of the areas. The methodology used in this study made it possible to identify areas with the highest levels of chemical and radioactive contamination.

According to the results of the conducted studies, it was determined that according to some values of CM (microcephaly, anencephaly and hydrocephalus), higher rates were detected in radioactively contaminated areas.

*Keywords:* chemical pollution, radioactive pollution, combined pollution,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , expert assessment method, weight coefficients, congenital malformations.

**Гегер Эмилия Владимировна**

доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»  
emiliya\_geger@mail.ru

**Силенок Александр Васильевич**

кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»  
alsil57@mail.ru

*Аннотация.* В результате проведенного исследования были получены агрегированные оценки риска воздействия химических и радиоактивных загрязнителей атмосферного воздуха на окружающую среду с помощью экспертного оценивания. Были построены интегральные показатели загрязнения окружающей среды в районах Брянской области.

Использование методики интегральных критериев для каждого вида загрязнения способствовало определению экологического состояния районов. Данная методика позволила оценить частоту врожденных пороков развития (ВПР) некоторых типов головного мозга у новорожденных из радиоэкологических районов Брянской области. Применяемая в данном исследовании методика позволила выявить районы с достаточно высоким уровнем химического и радиоактивного загрязнения. Полученные результаты исследований предоставили возможность сделать выводы по некоторым типам ВПР и определить, что их более высокий уровень выявлен в радиоактивно-загрязненных районах. Однако, полученные результаты для установления статически значимых различий между частотой ВПР у новорожденных на территориях с различным уровнем техногенного загрязнения требуют дальнейшего детального изучения.

*Ключевые слова:* химическое загрязнение, радиоактивное загрязнение, сочетанное загрязнение,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , метод экспертных оценок, весовые коэффициенты, врожденные пороки развития.

### Введение

Оценка воздействия техногенного загрязнения окружающей среды (ОС) на здоровье детского населения в настоящее время представляются актуальными и приоритетными задачами государственной политики [1, 2].

Отмечается угроза распространения экологически зависимых заболеваний от высокой антропогенной нагрузки в сочетании с неблагоприятной социально-экономической ситуацией в России. Особенно это касается крупных и урбанизированных регионов [3,4].

Во всех странах мира серьезную медико-социальную проблему представляют врожденные пороки развития,

данная патология очень часто встречается у врачей многих специальностей: педиатров, неонатологов, ортопедов, неврологов и т.д. [5].

Поскольку в возникновении ВПР большую роль играет экологический фактор, показатель частоты встречаемости ВПР может рассматриваться как маркер экологического неблагополучия территорий [5,6].

Наблюдение за радиационной обстановкой в Брянской области проводится в течение 30 с лишним лет. Плотность загрязнения (ПРЗ) почв  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на юго-западных территориях (ЮЗТ) Брянской области в течение нескольких десятилетий превосходила допустимые фоновые значения во много раз [7,8].

По состоянию на 1 января 2020 г., несмотря на некоторое улучшение радиэкологической обстановки, на юго-западных территориях области по-прежнему наблюдалось радиоактивное загрязнение [9].

Предположительно некоторые территории области будут радиоактивно загрязнены к 2056 г.

В связи с вышеизложенным, сохраняет свою актуальность проблема оценки радиэкологических последствий аварии на территории Брянской области, в том числе, оценка вреда здоровью населения.

Для анализа состояния здоровья населения необходимым является разработка многоаспектных и мультидисциплинарных подходов к оценке влияния техногенного загрязнения окружающей среды на здоровье человека.

Необходимо усовершенствование методов оценки экологических рисков здоровью с целью поиска оптимальных решений по их предотвращению, требуются новые подходы к получению, обработке и анализу данных с целью получения новых научных знаний.

На практике часто невозможно создать единообразие экспериментальных условий и наблюдений. В связи с чем отсутствие структурированной системы оценки загрязнения окружающей среды побудило нас изучать возможность применения новых подходов в дополнение к ранее изученным методам, которые позволят оценить загрязнение территорий.

Новый подход основывался на методе многокритериальной оптимизации и методе экспертных оценок (ЭО), впервые апробированный в более ранних работах [10].

В частности, было предложено использовать методы многокритериальной оптимизации совместно с технологией распределенной экспертизы для идентификации и оценки параметров указанного метода.

#### Цель исследования

С помощью предложенного подхода экспертного оценивания определить уровень загрязнения окружающей среды районов Брянской области и провести анализ частоты некоторых типов ВПР у новорожденных, родившихся и проживающих на территориях Брянской области с различной степенью радиэкологического загрязнения.

#### Материалы и методы

Для оценки риска воздействия радиоактивно-химических загрязнителей на окружающую среду и опреде-

ления общего уровня загрязнения в Брянской области нами были рассчитаны интегральные критерии возможного загрязнения в каждом районе.

В работе использовались методы многокритериальной оптимизации. Они представляют группу методов принятия решений, целью которых является поиск наиболее оптимального решения, удовлетворяющего нескольким не сводимым друг к другу критериям на основе некоторого принципа оптимальности.

Экспертный подход к принятию решений основан на использовании в процессе подготовки и принятия решений коллективного мнения специалистов-экспертов — специалистов в соответствующих предметных областях. Данный подход часто используется для решения неструктурированных задач.

Принцип многокритериальной оптимизации является основой при разработке методов экспертных оценок — методов, используемых при недостатке данных в тех случаях, когда возникает необходимость в работе со специалистами-экспертами и обработке их мнений тогда, когда выбор решения производится по нескольким критериям.

Целью применения экспертного оценивания в настоящем исследовании является оценка важности (приоритетности, опасности воздействия) загрязнителей химического и радиационного происхождения для каждого объекта окружающей среды (атмосферный воздух, вода, почва) и продуктов питания.

В нашем исследовании был проведен опрос экспертов, специализирующихся на различных экологических аспектах.

Оценка компетентности экспертов определялась на основе уровня их знаний в предметной области экспертизы. Оценивание влияние различных загрязняющих веществ производилось по 10-балльной системе.

В качестве шкалы оценивания была выбрана числовая балльная шкала со значениями от 1 (наименьшее влияние) до 10 (наибольшее влияние).

Одной из основных задач экспертного оценивания является получение весовых коэффициентов каждого из загрязнителей конкретного объекта окружающей среды.

Отдельной подзадачей является оценка степени влияния конкретного загрязнителя на объект загрязнения, исходя из опасности воздействия. Полученные агрегированные оценки риска воздействия химических и радиоактивных загрязнителей атмосферного воздуха

на окружающую среду были использованы для построения интегрального показателя загрязнения окружающей среды в районах Брянской области.

В качестве формулы интегрального критерия использовалась линейная форма  $I = g_1 I_1 + g_2 I_2 + \dots + g_n I_n$ , где  $g_i$  — весовые коэффициенты вклада каждого отдельного компонента в интегральный параметр загрязненности;  $I_i$  — количественный показатель каждого  $i$ -го вида загрязнения.

Для химического и радиоактивного загрязнения интегральные критерии были посчитаны отдельно.

В более ранних исследованиях мы проводили анализ динамики частоты ВПР некоторых типов на территориях Брянской области с различной степенью загрязнения окружающей среды, результаты были описаны в работах [11,12,13].

В данном исследовании предложенный метод был использован для изучения распространения отдельных типов ВПР головного мозга в различных выборках, представленных детскими группами из экологически разных районов области.

Основой информации для изучения явился региональный мониторинг ВПР, который ведется в Брянской области с 1999 года.

Период данного статистического наблюдения был расширен по сравнению с предыдущими исследованиями и составлял 20 лет с 2000 по 2019 гг.

В исследовании были разработаны методы и методики решения поставленных задач с апробацией их на реальных массивах данных.

Решить поставленные в исследовании задачи в условиях большого объема обрабатываемых разнородных данных без использования новых методов и моделей, реализующих грамотный подход к анализу информации, представляется затруднительным.

Анализ результатов решения задачи оценивания показал ранговое распределение районов. Результаты экспертного оценивания позволили выделить территории с наибольшим и наименьшим радиационным загрязнением. Результаты, полученные в контрольной группе, сравнивались с результатами экспериментальной группы.

Рассчитывались основные статистические показатели (характеристики): среднее значение  $M$ , стандартная ошибка среднего  $m$ ,  $t$ -критерий Стьюдента (сравнения статистических совокупностей). В работе применялся коэффициент Пирсона для определения корреляци-

онной зависимости на статистически значимом уровне ( $\alpha=0,05$ ) между ПРЗ и частотой ВПР [14].

### Результаты исследования

Расчет, выполненный по вышеописанной методике, с экспертной оценкой риска воздействия радиоактивных и химических веществ показал следующие результаты. Все анализируемые районы имеют собственный интегральный показатель загрязнения и ранг, определяющий риск воздействия химических и радиоактивных веществ на объекты окружающей среды в данном районе.

В Дятьковском районе и в г. Брянске, а также в Брянском и Комаричском районах были установлены самые высокие показатели загрязнения химическими веществами.

Территории с наибольшим радиационным загрязнением — Новозыбковский, Гордеевский, Красногорский и Злынковский.

Территории с наименьшим радиационным загрязнением — Мглинский и Клетнянский районы. Также в этих районах зафиксировано наименьшее химическое загрязнение, что позволило принять их за контрольные группы.

Новозыбковский район имеет 1 ранг радиоактивного загрязнения, здесь были зафиксированы наибольшие частоты ВПР головного мозга по анэнцефалии и микроцефалии. Гордеевский район имеет 2 ранг радиоактивного загрязнения, Красногорский район — 3 ранг соответственно, в этих двух районах наиболее часто встречается гидроцефалия.

Полученные результаты отражены в таблице 1.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что частота микроцефалии, анэнцефалии, гидроцефалии в контрольной группе ( $\alpha=0,05$ ) имеет более низкие показатели. Энцефалоцеле встречается чаще, ее частота соответствует значению 0,07. Однако для определения наиболее частой локализации энцефалоцеле надо провести дополнительное исследование.

Результаты анализа данных проведенного исследования отражены в таблице 2.

В ходе дальнейшего исследования был проведен анализ показателей ВПР с ПРЗ территорий, который не выявил взаимосвязи на статистически значимом уровне.

Выявлена незначительная корреляционная взаимосвязь микроцефалии со средним уровнем загрязнения

Таблица 1.

Показатели частоты ВПР у новорожденных Брянской области (на 1000 новорожденных,  $M \pm m$ ) за 2000–2019 гг.

Районы области	Показатели частоты анэнцефалии $M \pm m$	Показатели частоты микроцефалии $M \pm m$	Показатели частоты гидроцефалии $M \pm m$	Показатели частоты энцефалоцеле $M \pm m$	Средняя ПРЗ по районам, кБк/м <sup>2</sup>	
					<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
ЮЗТ	0,25±0,01	0,05±0,01	0,48±0,02	0,05±0,002	68,4–572,7	2,3–42,6
Без ЮЗТ	0,23±0,01	0,03±0,002	0,62±0,02	0,05±0,002	10,0–44,7	0,7–1,6
Мглинский Клетнянский	0,08±0,01	0,00	0,00	0,07±0,01	9,9–10,8	0,7–1,5

Примечание: Различия с контролем  $p < 0,001$

Таблица 2.

Показатели частоты ВПР у новорожденных из ЮЗТ Брянской области (на 1 000 новорожденных,  $M \pm m$ ) за 2000–2019 гг.

Районы области	Плотность загрязнения, кБк/м <sup>2</sup>		Показатели частоты анэнцефалии, $M \pm m$	Показатели частоты гидроцефалии, $M \pm m$	Показатели частоты микроцефалии, $M \pm m$	Показатели частоты энцефалоцеле, $M \pm m$
	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr				
Злынковский	571,9	42,5	0,00	0,00	0,42±0,02	0,00
Красногорский	573,8	26,3	0,00	0,65±0,07	0,82±0,03	0,41±0,02
г. Новозыбков	505,3	17,4	0,14±0,01	0,15±0,01	0,15±0,01	0,00
Новозыбковский	566,0	17,4	0,88±0,03	0,00	0,44±0,02	0,00
Гордеевский	384,3	9,3	0,44±0,02	0,87±0,03	0,00	0,00
Климовский	176,7	7,7	0,00	0,19±0,01	0,00	0,00
г. Клинцы	229,0	6,8	0,38±0,01	0,28±0,01	0,09±0,001	0,09±0,001
Клинцовский	261,5	6,8	0,27±0,01	1,03±0,04	0,00	0,00
Стародубский	69,4	2,3	0,15±0,01	0,75±0,03	0,15±0,01	0,00

территорий <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr, На ЮЗТ в Новозыбковском, Гордеевском и Красногорском районах были зарегистрированы более высокие показатели частоты микроцефалии, анэнцефалии и энцефалоцеле.

Более высокая частота микроцефалии, анэнцефалии и гидроцефалии у новорожденных наблюдалась в определенные годы: например, по микроцефалии — в 2001, 2003 и 2013 гг., по анэнцефалии в 2008, 2009 и 2016 гг.; по гидроцефалии — в 2008 и 2010 гг. соответственно.

Однако обстоятельства, в результате которых наблюдалось увеличение частоты ВПР головного мозга у новорожденных в определенные годы, подлежат выявлению роли предрасполагающих факторов и последующему тщательному исследованию. Целесообразно анализировать показатели частоты дородового выявления ВПР, иные факторы риска, а также инфекционные либо генетические причины.

### Выводы

Использование предложенного подхода направлено на решение задачи оценки риска влияния радиоактивно-химических загрязнителей на окружающую среду. Суммарные оценки риска были использованы для построения и расчета интегральных показателей радиоактивного и химического загрязнения районов Брянской области.

Применение методов экспертных суждений позволило повысить достоверность и обоснованность результатов оценивания.

На основе метода экспертного оценивания и построения интегрального показателя загрязнения были проведены исследования, которые выявили определенную динамику частоты ВПР некоторых типов головного мозга новорожденных ЮЗТ. Однако установление статистически значимых различий динамики частоты ВПР у новорожденных ЮЗТ и других районов области требует дальнейшего многофакторного изучения.

Для получения окончательных выводов необходимо провести дополнительные исследования:

- дальнейший мониторинг частоты встречаемости ранее не изученных типов ВПР у новорожденных во всех городах и районах Брянской области (4 города и 27 районов) с целью выявления корреляции на статистически значимом уровне;
- сравнительный анализ динамики частоты ВПР ранее не изученных типов ВПР у новорожденных

- Брянской области на территориях с различной степенью антропогенного загрязнения, используя технологии поддержки экспертизы;
- изучение воздействия радиоэкологического загрязнения ЮЗТ другими трансурановыми радионуклидами на статистически значимом уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л., Александрян А.В. Основы анализа риска здоровью человека от воздействия факторов окружающей среды. Ереван, 2012, 216 с.
2. Онищенко Г.Г. Радиационная обстановка на территории РФ по результатам радиационно-гигиенической паспортизации. Гигиена и санитария. 2009; (3): 4–7.
3. Годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2023 году // Департамент природных ресурсов и экологии Брянской области. — 2024. [Электронный ресурс]. URL: [https://kpl32.ru/in\\_doc/20240627\\_54873\\_gosdoklad\\_2024.pdf](https://kpl32.ru/in_doc/20240627_54873_gosdoklad_2024.pdf) (дата обращения: 23.11.2024).
4. Кулагина Н.А., Атаманова О.В., Дадыкин В.С. Анализ экологической безопасности Брянской области: основные сферы и направления государственного мониторинга // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2015. — Т. 13. — С. 1776–1780. [Электронный ресурс]. URL: <http://e-koncept.ru/2015/85356.htm> (дата обращения: 23.11.2024).
5. Эпидемиологический мониторинг врожденных пороков развития в Российской Федерации / Н.С. Демикова, Б.А. Кобринский Москва: Пресс-Арт, 2011. С. 236.
6. Демикова Н.С. Эпидемиологический мониторинг врожденных пороков развития в Российской Федерации и его значение в профилактике врожденных аномалий у детей: автореф. дис. . . д-ра мед. наук. 2005, 43 с.
7. Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-190 и плутонием-1239+240 / под редакцией С.М. Вакуловского. — Обнинск, ФГБУ «НПО «Тайфун», 2015. — 225 с. DOI: [http://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/e38/ezheg\\_rzrf\\_2017.pdf](http://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/e38/ezheg_rzrf_2017.pdf).
8. Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Власов А.Ю. и др. Средние накопленные за 1986–2016 гг. эффективные дозы облучения жителей населенных пунктов РФ, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения по постановлению Правительства РФ от 08.10.2015 г. № 1074 «Об утверждении Перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС». Радиационная гигиена. 2017; 10 (2):57–105. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-2-57-105>.
9. Бурякова А.А., Павлова Н.Н., Крышев И.И., Каткова М.Н. Динамика и современное состояние радиоэкологической обстановки на территориях аварийного Чернобыльского следа в Брянской области // Радиационная биология. Радиоэкология, 2021, том 61, № 3, с. 277–285.
10. Гегерь Э.В. Экологическая оценка влияния техногенных нагрузок окружающей среды на формирование биологических и медицинских показателей здоровья населения (на примере Брянской области): дис. . . д-ра биол. наук. Брянск. 2014. 349 с.
11. Корсаков А.В., Гегерь Э.В., Лагерев Д.Г., Пугач Л.И., Силенок А.В., Капустина Н.К. Динамика частоты полидактилии, редуцированных пороков конечностей и множественных врожденных пороков развития у новорожденных на территориях радиоактивного, химического и сочетанного загрязнения окружающей среды (2000–2017) // Проблемы региональной экологии. №5. 2018. С. 27–32.
12. Корсаков А.В., Яблоков А.В., Гегерь Э.В., Пугач Л.И. Динамика частоты полидактилии, редуцированных пороков конечностей и множественных ВПР у новорожденных радиоактивно загрязненных территорий Брянской обл. (1999–2014). Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Том 56. №4. С.397–404. DOI: 10.7868/S086980311604007X.
13. Гегерь Э.В., Корсаков А.В., Компьютерный регистр исследования частоты врожденных пороков развития головного мозга у детей экологически различных районов Брянской области // Экология человека. 2016. №12. С. 11–15.
14. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Уч. пособ. для студ. Вузов // 9-е изд. М.: Высш. шк., 2004, 404 с.

© Гегерь Эмилия Владимировна (emiliya\_geger@mail.ru); Силенок Александр Васильевич (alsil57@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВОГРУНТОВ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ

**Иванченкова Оксана Андреевна**

К.с.-х.н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский государственный инженерно-технологический университет, Брянск  
oa-iva79@mail.ru

**Лукашов Сергей Викторович**

К.х.н., доцент, ФГБОУ ВО Брянский государственный университет им. акад. И. Г. Петровского, Брянск  
sergelukashov@yandex.ru

## ECOLOGICAL MONITORING OF SOILS OF THE COASTLINE OF SMALL WATER BODIES

**O. Ivanchenkova  
S. Lukashov**

*Summary.* This article considers an approach to organizing environmental monitoring of soil pollution of the shorelines of small bodies of water with heavy metals, organic matter and oil products. Theoretical studies were conducted, based on which methods for analyzing organic matter, oil products and heavy metals in soils were selected. A technique for X-ray fluorescence determination of heavy metals in soils is proposed, which allows for prompt monitoring of soil pollution with heavy metals (screening, direct determination). Soils of territories in anthropogenic impact zones were examined: the shoreline of Lake Oktyabrskoye, Bryansk district, Bryansk region; an artificial reservoir in the Priozerny cottage village, Bezhitsky district, Bryansk. Exceeding the MAC of strontium ( $Sr^{2+}$ ), lead ( $Pb^{2+}$ ) and copper ( $Cu^{2+}$ ) content was established. The Total Chemical Pollution Index (Zc) has been calculated, based on the values of which the ecological and forecast assessments of the possibility of using contaminated territories in economic activities have been made taking into account SanPiN 1.2.3685-21, SP 11-102-97 and SanPiN 2.1.3684-21. Based on the conducted studies, it can be concluded that the ecological state of the soil grounds of the shorelines of Lake Oktyabrskoye and the artificial reservoir on the territory of the Priozerny cottage village is satisfactory. The considered approach to the chemical and ecological analysis of the pollution of the soil grounds of the shorelines of small reservoirs with heavy metals and organic substances can be used as a basis for environmental monitoring and a program of engineering and ecological surveys in the development of revitalization measures for small reservoirs.

*Keywords:* environmental monitoring, lead, copper, small water bodies, heavy metals, petroleum products, organic matter, soils.

*Аннотация.* В настоящей статье рассмотрен подход к организации экологического мониторинга загрязнения почвогрунтов береговой линии малых водоемов тяжелыми металлами, органическими веществами и нефтепродуктами. Проведены теоретические исследования, на основании которых выбраны методы анализа органических веществ, нефтепродуктов и тяжелых металлов в почвогрунтах. Предложена методика рентгенофлуоресцентного определения тяжелых металлов в почвогрунтах, которая позволяет осуществлять оперативный контроль загрязнения почв тяжелыми металлами (скрининг, прямое определение). Обследованы почвогрунты территорий в зонах антропогенного воздействия: береговой линии озера Октябрьское Брянского района Брянской области; искусственного водоема на территории коттеджного поселка Приозерный, Бежицкого района города Брянск. Установлено превышение ПДК содержания стронция ( $Sr^{2+}$ ), свинца ( $Pb^{2+}$ ) и меди ( $Cu^{2+}$ ). Рассчитан суммарный показатель химического загрязнения (Zc), на основании значений которого выполнены экологическая и прогнозная оценки возможности использования загрязненных территорий в хозяйственной деятельности с учетом СанПиН 1.2.3685-21, СП 11-102-97 и СанПиН 2.1.3684-21. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что экологическое состояние почвогрунтов береговых линий озера Октябрьское и искусственного водоема на территории коттеджного поселка Приозерный является удовлетворительным. Рассмотренный подход химико-экологического анализа загрязнения почвогрунтов береговой линии малых водоемов тяжелыми металлами и органическими веществами может быть положен в основу экологического мониторинга и программу инженерно-экологических изысканий при разработке мероприятий revitalization малых водоемов.

*Ключевые слова:* экологический мониторинг, свинец, медь, малые водоемы, тяжелые металлы, нефтепродукты, органические вещества, почвогрунты.

### Введение

В настоящее время отмечается активное обсуждение вопросов, связанных с экологическим состоянием малых водоемов. При этом особое внимание уделяется проблемам загрязнения почвогрунтов береговой линии малых водоемов [1].

Расположение малых водоемов в зонах антропогенного воздействия придает особую значимость их изучению. В таких узкоспециализированных экосистемах, как береговые линии малых водоемов, каждый фактор,

включая состав почвогрунтов, влияет на динамику и разнообразие животного и растительного мира. Поэтому детальное исследование и анализ химического состава почвогрунтов позволяет понять причины возникновения экологических проблем и предоставляет данные для их преодоления и предотвращения [2].

Важную роль в исследовании почвогрунтов береговой линии играет определение содержания различных химических элементов и веществ, входящих в их состав, в частности тяжелых металлов, органических веществ и нефтепродуктов, которые попадают в среду из антропо-

погенных источников. Оценка наличия и концентрации данных компонентов в почвогрунтах предоставляет информацию о степени их загрязненности, а также позволяет выявить источники загрязнения и спрогнозировать потенциальные риски для окружающей среды и здоровья человека. Данная информация является важной для планирования и проведения мероприятий по восстановлению и охране береговых территорий малых водоемов [3,4].

Таким образом, исследование химического состава почвогрунтов береговой линии малых водоемов является важной и актуальной проблемой, требующей серьезного внимания. Оценка степени загрязненности позволит разработать эффективные стратегии по решению экологических проблем и обеспечению сохранения природных ресурсов.

**Цель исследования**

Количественное определение тяжелых металлов, органических веществ и нефтепродуктов, входящих в состав почвогрунтов береговой линии малых водоемов с целью определения степени их загрязненности и прогнозной оценки использования в хозяйственной деятельности.

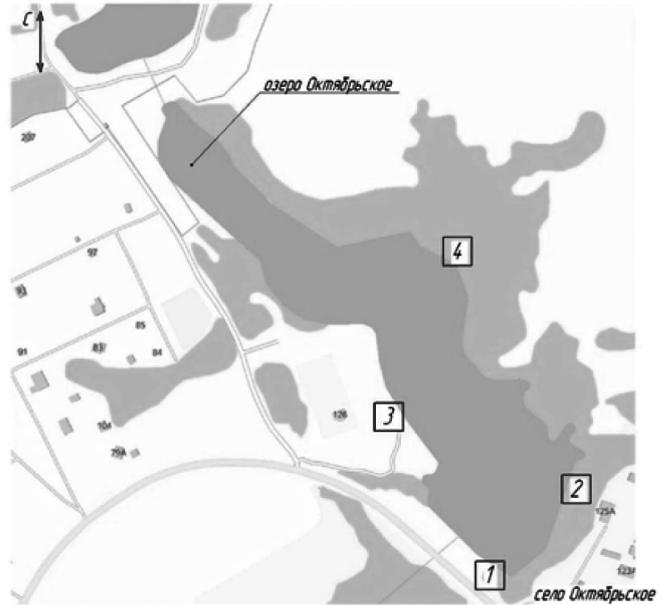
**Материал и методы исследования**

В качестве объектов исследования нами были выбраны почвогрунты береговой линии малого водоема — озера Октябрьское Брянского района Брянской области (рис. 1); почвогрунты береговой линии искусственного водоема на территории коттеджного поселка Приозерный, Бежицкого района города Брянск (рис. 2).

Озеро Октябрьское расположено не далеко от одноименного населенного пункта Брянского района Брянской области. Водоем является проточным, по гребню плотины проходит автомобильная дорога, имеющая асфальтовое покрытие. Запорная арматура расположена в нижнем бьефе плотины. Площадь водного зеркала составляет — 18485 метров квадратных. С 2015 г. наблюдается постепенное обмеление данного водоема.

Искусственный водоем, расположен на территории коттеджного поселка Приозерный, Бежицкого района города Брянск. Представляет собой проточный пруд, в него впадает небольшой ручей, протекающий по территории городского леса Заставище, далее впадающий в озеро Барсучья Грива. С западной стороны от исследуемого объекта расположен заросший прибрежно-водной растительностью водоем.

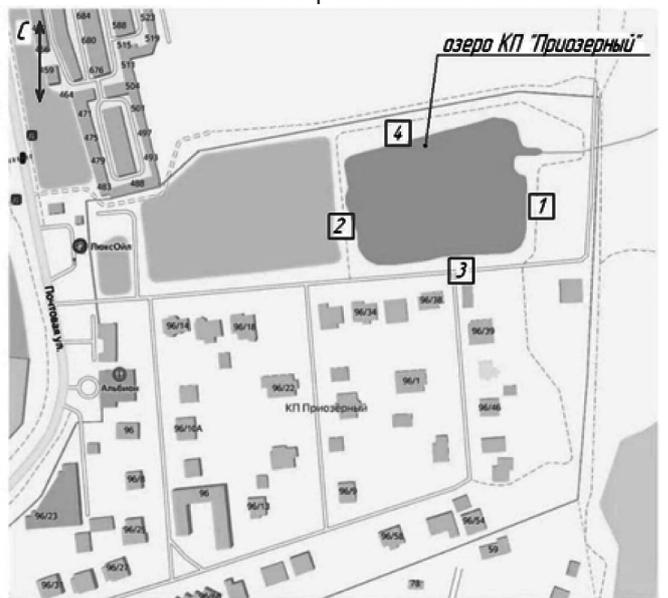
При отборе проб почвогрунтов руководствовались ГОСТ 12071-2014.



**Условные обозначения**

1 точки отбора почвогрунтов

Рис. 1. Карта-схема расположения озера Октябрьского Брянского района Брянской области и точек отбора проб



**Условные обозначения**

1 точки отбора почвогрунтов

Рис. 2. Карта-схема расположения озера в коттеджном поселке Приозерный и точек отбора проб

В работе использовали реактивы квалификации о.с.ч. или х.ч. Для приготовления растворов использовали бидистиллированную воду. Применяли растворы

GCO № 7255-96 Cu (II), № 7252-96 Pb (II), № 7472-98 Cd (II), № 7256-96 Zn (II), содержащие 1 г/дм<sup>3</sup> ионов металлов.

Количественное определение тяжелых металлов в составе почвогрунта проводили с помощью, предложенной нами методики, основанной на рентгенофлуоресцентном анализе.

Концентрации свинца и меди в почвогрунтах устанавливали методом инверсионной вольтамперометрии на полярографе АВС — 1.1 в соответствии с оптимизированной нами методикой [5].

Содержание органических веществ в почвогрунтах определяли зольным методом [6].

Определение массовой доли нефтепродуктов в образцах почвогрунта проводили флуориметрическим методом [7].

Учитывая рекреационное назначение исследуемых водных объектов, для оценки значений полученных данных с нормированными показателями загрязняющих веществ использовали СанПиНом 1.2.3685-21.

Прогнозную оценку возможности использования загрязненных территорий в хозяйственной деятельности выполняли с учетом СП 11-102-97.

Обработку полученных результатов выполняли с использованием Microsoft Excel.

### Результаты исследования и их обсуждение

Пробы почвогрунта отбирали в местах, указанных на рис. 1–2. Пробы гомогенизировались и усреднялись. Количественное определение свинца, меди, цинка и кадмия в образцах почвогрунта проводили методом инверсионной вольтамперометрии.

Таблица 1.

Зависимость интенсивности характеристической линии Са от массы добавки СаСО<sub>3</sub> в пробе №1, о. Октябрьское

Проба	m добавки СаСО <sub>3</sub>	I Са
Проба почвогрунта без добавки	0	0,86
Проба почвогрунта (1-я добавка)	0,20	1,2
Проба почвогрунта (2-я добавка)	0,40	2,0

Таблица 2.

Содержание металлов в образцах почвогрунта (проба №1), определенное рентгенофлуоресцентным методом

Металл	Исходное соотношение металлов в пробе, %	Масса металла, содержащегося в пробе m=1 г, г	Концентрация металла в пробе, %
Sr	0,7210	0,003200	0,32
Fe	8,237	0,03600	3,60
Ca	10,42	0,04600	4,60

Для определения стронция, кальция и железа нами предложена методика рентгенофлуоресцентного анализа. Предлагаемая методика заключается в получении спектров пробы почвогрунта массой 1 г с последовательными добавками карбоната кальция и последующем пересчете содержания элементов в исследуемой пробе в зависимости от интенсивности характеристической линии кальция. Пример определения тяжелых металлов методом рентгенофлуоресцентного анализа представлен в табл. 1 и 2 на рисунках 3–6.

Результаты определения тяжелых металлов в образцах почвогрунта береговой линии озера Октябрьское

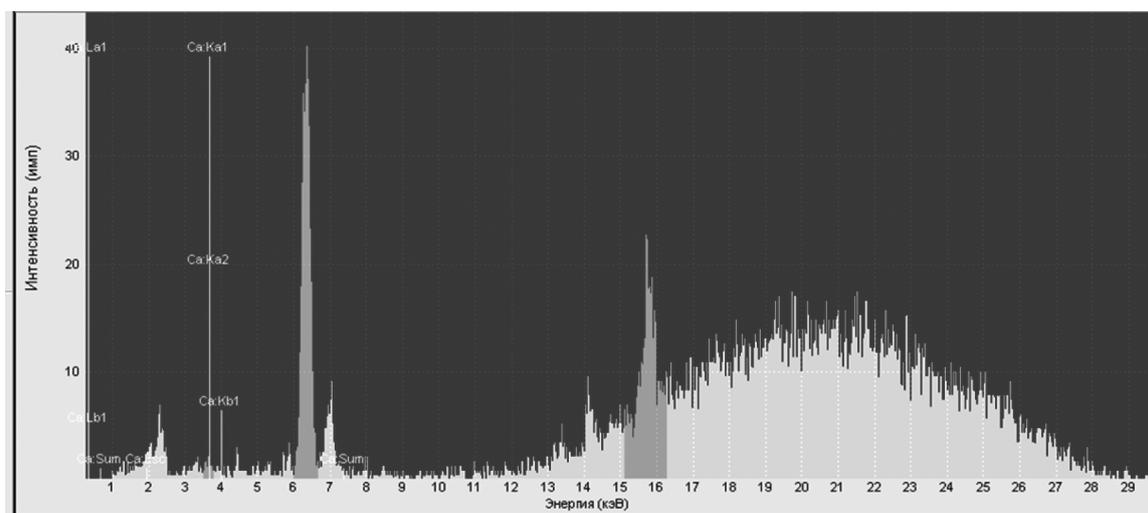


Рис. 3. Спектры пробы №1, о. Октябрьское, без добавок (стронций — 7,21 %; железо — 8,237 %; кальций — 10,42 %)

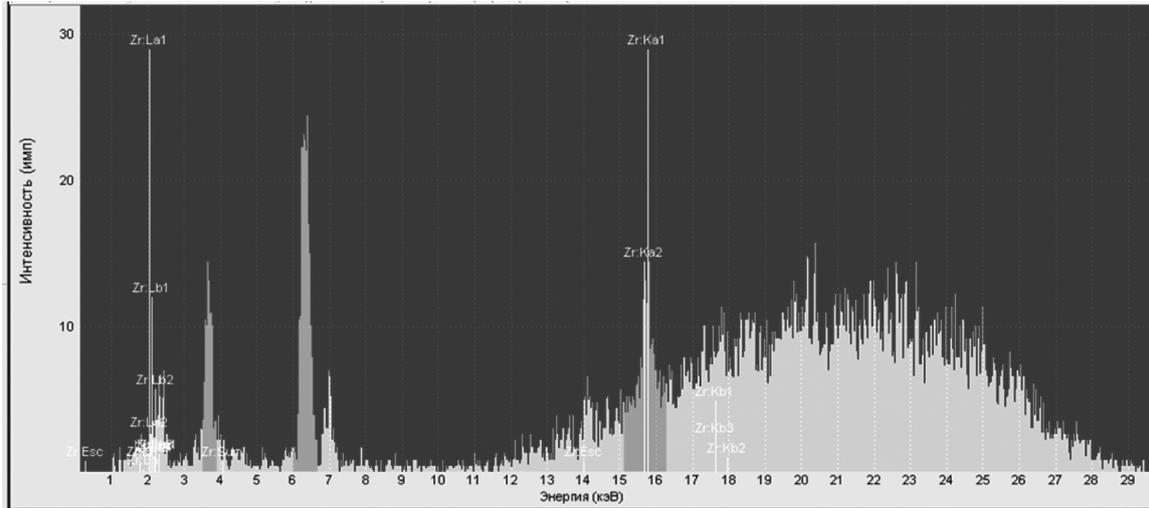


Рис. 4. Спектры пробы №1, о. Октябрьское, после 1 добавки (0,2 г)  $\text{CaCO}_3$  (стронций — 2,82 %; железо — 3,748 %; кальций — 59,70 %)

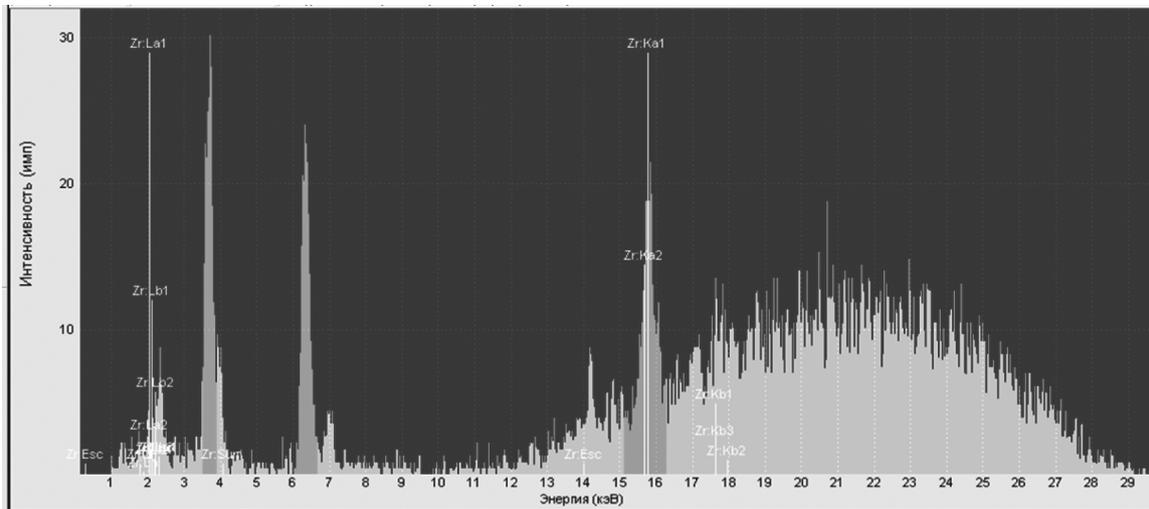


Рис. 5. Спектры пробы №1, о. Октябрьское после 2 добавки (0,2 г)  $\text{CaCO}_3$  (стронций — 1,75 %; железо — 2,463 %; кальций - 73,62 %)

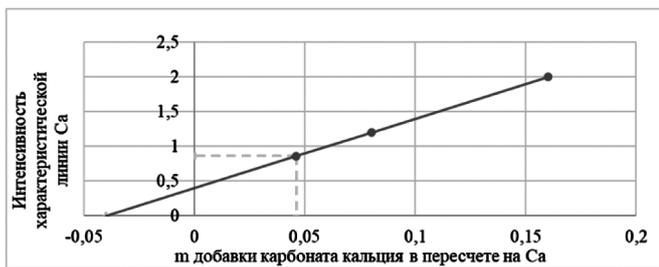


Рис. 6. Зависимость интенсивности характеристической линии Ca от массы добавки  $\text{CaCO}_3$  (в пересчете на кальций) в пробе №1, о. Октябрьское

и п. Приозерный (среднегодовые значения объединенной пробы за 2022 и 2023 гг.) представлены в табл. 3.

Анализ проб почвогрунтов береговой линии о. Октябрьское показал превышение ПДК по пяти химическим элементам: железу, кальцию, свинцу, меди и строн-

цию в пробах, отобранных в 2022 и 2023 гг. Превышение железа в пробах в 1,1 раза выше фона, кальция — в 1,5 раза, свинца — в 1,1 раза, меди — в 1,2 раза и стронция — в 16 раз. Превышение содержания цинка и кадмия в отобранных пробах не наблюдалось.

Анализ проб почвогрунтов береговой линии о. п. Приозерный показал превышение ПДК по трем химическим элементам: железу, кальцию и стронцию что в пробах за указанные периоды. Самый высокий уровень превышения ПДК наблюдался у стронция — в 10,65 раза. Превышение железа в 1,18 раза выше фона, кальция — в 1,29 раза. Содержание остальных элементов (свинца, меди, цинка и кадмия) не превышало фона.

Для оценки степени загрязненности почвогрунтов тяжелыми металлами использовали суммарный показатель химического загрязнения (Zc), который определяется суммой коэффициентов концентрации отдельных компонентов загрязнения по формуле:

Таблица 3.

Среднегодовые значения концентраций тяжелых металлов в почвогрунтах о. Октябрьское и о. п. Приозерный.

Металл	Концентрация металла в пробе, мг/кг, 2022 г.	Концентрация металла в пробе мг/кг, 2023 г.	ПДК/ОДК, мг/кг, кларк, мг/кг	Класс опасности
о. Октябрьское				
Sr	3235,00	3151,00	кларк 200	–
Fe	41755,00	41655,00	/38000	–
Ca	47000,00	45000,00	кларк 32500	–
Zn	95,00	98,00	/110	1
Pb	69,02	68,01	/65	1
Cd	0,12	0,12	/2	1
Cu	67,30	68,40	/66	2
о. п. Приозерный				
Sr	2139,00	2129,00	кларк 200	–
Fe	44794,00	44685,00	/38000	–
Ca	42135,00	41097,00	кларк 32500	–
Zn	35,00	34,00	/110	1
Pb	62,02	61,04	/65	1
Cd	0,11	0,11	/2	1
Cu	44,60	42,40	/66	2

$$Zc = \sum(Kc_i + \dots + Kc_n) - n - 1 \quad (1)$$

где  $n$  — количество определяемых компонентов,

$Kc_i$  — коэффициент концентрации  $i$ -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением.

Коэффициент концентрации для загрязняющих веществ неприродного происхождения равен частному от деления массовой доли загрязнителя на его ПДК.

Рассчитанные значения ( $Zc$ ) представлены в табл. 4.

Таблица 4.

Суммарный показатель химического загрязнения почвогрунтов ( $Zc$ ) о. Октябрьское и о. п. Приозерный за 2022 и 2023 гг.

Водоем	о. Октябрьское		о. п. Приозерный	
	2022	2023	2022	2023
( $Zc$ )	15,73	15,29	9,17	9,09

Для оценки экологического состояния почвогрунтов, загрязненных тяжелыми металлами, по значению сум-

марного загрязнения использовали СанПиНом 2.1.3684-21, в соответствии с которым экологическое состояние почвогрунтов обследованных территорий считают удовлетворительным, если суммарный показатель химического загрязнения не превышает 16. На основе полученных данных можно сделать следующий вывод: экологическое состояние почвогрунтов береговой линии о. Октябрьское и о. п. Приозерный можно считать относительно удовлетворительным, так как суммарный показатель химического загрязнения не превышает норму.

Среднегодовые результаты определения органических веществ в образцах почвогрунта береговых линий о. Октябрьское и о. п. Приозерный за 2022 и 2023 гг. представлены на рис. 7–8.

Согласно полученным данным, представленных на рис. 7 и 8, можно отметить снижение содержания органических веществ в почвогрунтах береговой линии о. Октябрьское в 2023 году по сравнению с 2022 годом (исключением является проба 2). Данная тенденция прослеживается и в содержании органических веществ в почвогрунтах береговой линии о. п. Приозерный.

Снижение уровня органики в почвогрунтах связано с уменьшением площадей обрабатываемых земель

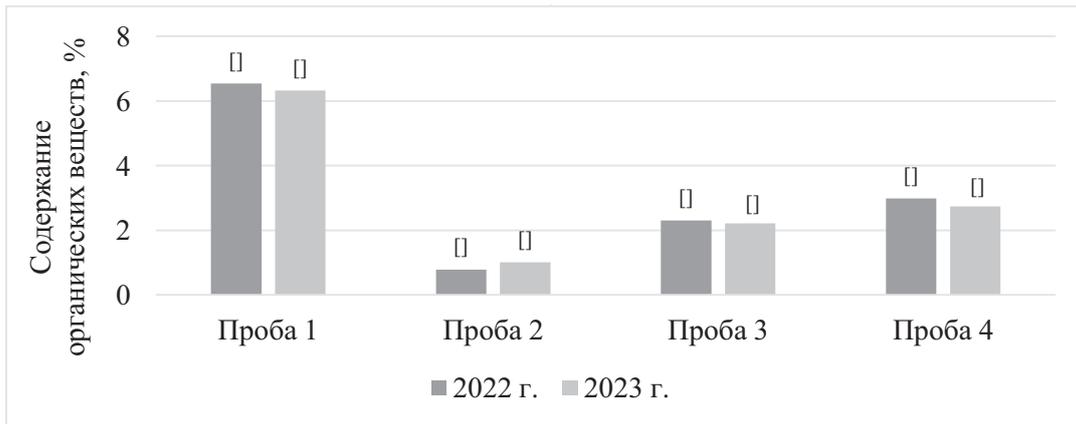


Рис. 7. Среднегодовые результаты содержания органических веществ в образцах почвогрунта береговой линии о. Октябрьское

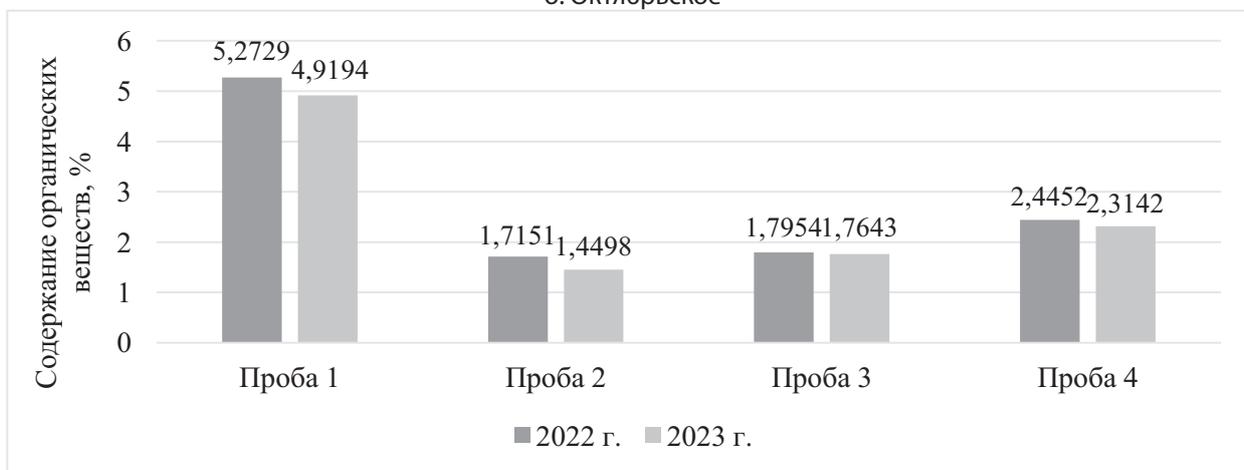


Рис. 8. Среднегодовые результаты содержания органических веществ в образцах почвогрунта береговой линии о. п. Приозерный

вдоль береговой линии о. Октябрьское, а также с частичной застройкой прилегающих территорий к о. п. Приозерный, где устанавливаются системы водоотведения.

В данной работе определялось суммарное остаточное содержание нефтепродуктов в почвогрунтах. В процессе анализа литературных данных нами установлена невозможность определения вклада отдельной взятой группы, марки или сорта нефтепродуктов в загрязнение образцов почвогрунта. Из этого следует, что наиболее целесообразно в основу определения включить только тип нефтепродуктов. Однако, он включает большое количество нефтепродуктов, которые являются потенциальными загрязнителями почв, поэтому целесообразно определять суммарное содержание нефтепродуктов в образцах почвогрунта [8].

Данные по определению суммарного содержания нефтепродуктов и их распределение по образцам проб озера Октябрьское представлены в табл. 5.

Таблица 5.

Суммарное содержание нефтепродуктов в среднегодовых пробах почвогрунта о. Октябрьское и о. п. Приозерный

№ пробы	Содержание нефтепродуктов, мг/кг о. п. Приозерный	№ пробы	Содержание нефтепродуктов, мг/кг, о. Октябрьское
Год			
2022			
1	9,1	1	31,8
2	8,2	2	33,4
3	7,5	3	32,8
4	23,9	4	35,3
Год			
2023			
1	11,4	1	29,1
2	14,8	2	31,2
3	8,7	3	34,4
4	26,2	4	36,1

В России суммарные предельно допустимые концентрации для нефтепродуктов официально пока еще не определены, в связи с чем мы предлагаем использовать градацию, разработанную Ю.И. Пиковским [9] (табл. 6).

Таблица 6.

Данные по нормированию нефтепродуктов в почвах по Пиковскому

Уровень загрязнения	Концентрация нефтепродуктов, мг/кг
Повышенный фон	100–500
Умеренное (низкое)	500–1000
Умеренно опасное (высокое)	1000–2000
Сильное (опасное)	2000–5000
Очень сильное	свыше 5000

Таким образом, загрязнение почвогрунтов о. Октябрьское и о. п. Приозерный не превышает фоновых значений.

На основании полученных данных, в соответствии с СП 11-102-97, обследуемые территории могут быть использованы для реализации проектных решений в области их благоустройства и эксплуатации в рекреационных целях.

### Выводы

На основе анализа литературных данных был обоснован подход к организации экологического мониторинга почвогрунтов береговой линии малых водоемов, включающий определение тяжелых металлов, органических веществ и нефтепродуктов.

Предложена методика количественного определения тяжелых металлов в образцах почвогрунта, в ос-

нове которой лежит метод рентгенофлуоресцентного анализа.

Анализ почвогрунтов о. Октябрьское на тяжелые металлы выявил превышение установленных значений по Sr (кларк превышен в 15 раз), Pb (ПДК превышено в 1,1 раза), Cu (ПДК превышено в 1,03 раза), Fe (ОДК превышено в 1,1 раза). По о. п. Приозерный отмечается только превышение Sr (кларк превышен в 10 раз) и Fe (ОДК превышено в 1,1 раза).

Установлена тенденция снижения содержания органических веществ в почвогрунтах береговой линии о. Октябрьское и о. п. Приозерный, что связано с уменьшением площади обрабатываемых земель в окрестностях береговых линий, а также с частичной застройкой прилегающих территорий и установкой систем водоотведения.

Исследование почвогрунтов о. Октябрьское и о. п. Приозерный на суммарное содержание нефтепродуктов показало, что показатели не превышают фоновых значений.

Экологическое состояние почвогрунтов береговой линии о. Октябрьское и о. п. Приозерный можно считать относительно удовлетворительным, так как суммарный показатель химического загрязнения не превышает норму. Также наблюдается улучшение показателей суммарного индекса химического загрязнения почвогрунтов в 2023 г. по сравнению с 2022 г.

Рассмотренный подход химико-экологического анализа загрязнения почвогрунтов береговой линии малых водоемов тяжелыми металлами и органическими веществами может быть положен в основу экологического мониторинга и программу инженерно-экологических изысканий при разработке мероприятий ревитализации малых водоемов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф., Жадко С.В. Накопление тяжелых металлов прибрежно-водной растительностью водоемов вблизи г. Жлобина Гомельской области республики Беларусь // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. №5. С. 124–132.
2. Тушина А.С. Геоэкологическая оценка малых водоемов города Новосибирска. Кандидатская диссертация. Специальность 25.00.36. Барнаул 2021. 251 С.
3. Лебедев С.В., Агафонова Е.К. Эколого-геохимическая оценка загрязнения окружающей среды по данным мониторинга содержания тяжелых металлов в почвогрунтах и снежном покрове (на примере Василеостровского района Санкт-Петербурга) // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2017. Т. 62. Вып. 4. С. 357–369.
4. Кочетова, Ж.Ю. Сравнительный анализ интегральных показателей загрязнения почвогрунтов урбанизированных территорий приоритетными загрязнителями / Ж.Ю. Кочетова, О.В. Базарский, Н.В. Маслова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2018. — № 1(125). — С. 28–37. — DOI 10.26730/1999-4125-2018-1-28-36. — EDN XOUGZN.
5. Дедкова, Д.А. Оптимизация параметров инверсионно—вольтамперометрического определения тяжелых металлов в водных растворах / Д.А. Дедкова, С.В. Лукашов // Химия и физика — XXI век. Теория, практика, образование: Сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Брянск, 18–19 мая 2022 года / Под редакцией Н.А. Титова. — Брянск: Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, 2022. — С. 41–47.
6. ГОСТ 27784-88. Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв: государственный стандарт союза ССР: дата введения 1989-01-01 / Государственного комитета СССР по стандартам. — Изд. официальное. — Москва: Стандартинформ. 1988.
7. ПНД Ф 16.1:2.21-98 Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02». М.: 1998.
8. Лукашов С.В., Надточей Е.П., Иванченкова О.А. Определение остаточных количеств нефтепродуктов и водорастворимых минеральных загрязнителей в почвогрунтах урбанизированных территорий // Успехи современного естествознания. — 2021. — № 3. — С. 65–71; URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37595> (дата обращения: 01.04.2023).
9. Пиковский Ю.И., Коротков Л.А., Смирнова М.А., Ковач Р.Г. Лабораторно-аналитические методы при определении углеводородного состояния почв (обзор) // Почвоведение. 2017. №10. С. 1165–1178.

© Иванченкова Оксана Андреевна (oa-iva79@mail.ru); Лукашов Сергей Викторович (sergelukashov@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ГИГИЕНЫ ПОЛОСТИ РТА В ОТНОШЕНИИ МИКРООРГАНИЗМОВ УЧАСТВУЮЩИХ В ФОРМИРОВАНИИ БИОПЛЁНОК НА ПОВЕРХНОСТИ ЭМАЛИ ЗУБОВ И ОРТОДОНТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ<sup>1</sup>

## ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF PROFESSIONAL ORAL HYGIENE IN RELATION TO MICROORGANISMS PARTICIPATING IN THE FORMATION OF BIOFILM ON THE SURFACE OF TEETH ENAMEL AND ORTHODONTIC CONSTRUCTIONS

**S. Lisovskaya  
P. Grishin  
E. Filimonova**

*Summary.* Orthodontic structures due to the complexity of the device, changes in the properties of saliva contribute to the creation of favorable conditions for the growth of microbial biofilm and the development of inflammatory periodontal diseases. In the course of the work, the initial hygiene index of the studied groups was established. The microbial landscape of the surfaces of the teeth of the oral cavity was represented by polymicrobial flora (bacteria and microscopic fungi). After professional oral hygiene, a decrease in the number of inoculated species was observed in 83 % of cases and in 60 %, the diversity of microflora decreased by more than 4 times. However, already two months after the procedure, the quantitative composition of microflora increased more than twice, and by the 6th month of the study in the group with orthodontic structures, the microbiological indicators exceeded the initial ones.

*Keywords:* professional oral hygiene, biofilms, microorganisms, fungi, bacteria, orthodontics.

**Лисовская Светлана Анатольевна**

Кандидат биологических наук,  
ведущий научный сотрудник, Казанский  
научно-исследовательский институт эпидемиологии  
и микробиологии Роспотребнадзора;  
доцент, Казанский государственный  
медицинский университет  
S\_lisovskaya@mail.ru

**Гришин Петр Олегович**

кандидат медицинских наук, доцент,  
Казанский государственный медицинский университет  
phlus8@mail.ru

**Филимонова Екатерина Олеговна**

Казанский государственный медицинский университет  
ktfilimonova@gmail.com

*Аннотация.* Ортодонтические конструкции в связи со сложностью устройства, изменениями свойств слюны способствуют созданию благоприятных условий для роста микробной биоплёнки и развитию воспалительных заболеваний пародонта. В ходе работы установлен начальный индекс гигиены исследуемых групп. Микробный пейзаж поверхностей зубов ротовой полости был представлен полимикробной флорой (бактериями и микроскопическими грибами). После проведения профессиональной гигиены полости рта в 83 % случаев наблюдалось снижение количества высеваемых видов и в 60 % уменьшалось разнообразие микрофлоры более чем в 4 раза. Однако, уже через два месяца после процедуры количественный состав микрофлоры вырос более чем в два раза, а к 6 месяцу исследования в группе с ортодонтическими конструкциями микробиологические показатели превышали первоначальные.

*Ключевые слова:* профессиональная гигиена полости рта, биоплёнки, микроорганизмы, грибы, бактерии, ортодонтия.

### Введение

Ортодонтическое лечение, направленное на устранение патологии прикуса, увеличивает риски возникновения заболеваний пародонта в связи со сложной трудноочищаемой конструкцией ортодонтических аппаратов [1]. Установка ортодонтических конструкций ставит под угрозу гигиену полости рта, что способствует активному процессу биоплёнокообразования микроорганизмов, обитающих в ротовой полости. Ор-

тодонтическое лечение сопровождается изменениями параметров слюны: снижением pH, скорости выделения и буферной способности — все это ведет к угнетению её бактерицидных и бактериостатических свойств [2]. Игнорирование гигиены полости рта, изменённые свойства слюны способствуют активному росту биоплёнки, приводя тем самым к нарушению поступления важных макро- и микроэлементов в эмаль, что ведёт к процессам деминерализации.

<sup>1</sup> Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-14-00194, <https://rscf.ru/project/24-14-00194>

В пародонтальных карманах пациентов с патологией прикуса помимо бактерий часто обнаруживаются дрожжевые грибы *Candida*. Исследования показывают, что ортодонтические пациенты имеют повышенную колонизацию ацидогенных микроорганизмов, в особенности, *Streptococcus spp.* и дрожжевых грибов *Candida albicans* [3]. *Streptococcus spp.* играет ведущую роль в развитии кариеса зубов ввиду своей особенности — вырабатывать большое количество глюкозидов, молочной кислоты, создавая тем самым благоприятную питательную среду, с низкими значениями pH для роста и адгезии *C. albicans* [4,5]. Таким образом, при сочетании парадонтопатогенной микрофлоры и дрожжеподобных грибов рода *Candida* происходит суммарное воздействие на эмаль зубов. Кроме того, по данным экспериментов *in vitro*, степень адгезии микроорганизмов к различным ортодонтическим материалам разная и зависит от величины и дисперсности частиц материала, так, например, наибольшая контаминация отмечается в области вокруг брекетов и ретейнеров, поскольку при фиксации зачастую используется большое количество адгезива без удаления его излишек [6].

Наиболее распространенным методом борьбы с биоплёнкой является профессиональная гигиена полости рта (ПГПР). Каждый из этапов данной процедуры оказывает незаменимое влияние на качественный и количественный состав микрофлоры полости рта. В процессе ультразвуковой обработки клеточная мембрана микроорганизмов подвергается существенному изменению механических, электрических и иных свойств, что приводит к нарушению её целостности и впоследствии гибели микроорганизмов [7]. Удаление мягкого зубного налёта и пигментированных зубных отложений производится с помощью воздушно-абразивной системы Air-Flow. Порошок на основе бикарбоната натрия способен не только эффективно удалить налет за счёт мелкодисперсных частиц, но и восстановить pH полости рта [8]. Данные этапы эффективно устраняют зубной налёт и камень, но не позволяют получить идеальную гладкую поверхность зуба. Полирование и шлифование очищенных поверхностей избавляют эмаль от шероховатостей, что препятствует адгезии микроорганизмов. Завершающим этапом является реминерализующая терапия, которая защищает эмаль от процессов деминерализации. Сегодня профессиональную гигиену полости рта рекомендовано проводить каждые 6 месяцев (A16.07.051) в зависимости от клинической ситуации и уровня гигиены полости рта.

Целью нашего исследования является анализ влияния профессиональной гигиены полости рта у пациентов с ортодонтическими конструкциями и без них на качественный и количественный состав микрофлоры с поверхностей зубов и состояние эмали зуба.

## Материалы и методы

Было проведено анкетирование среди пациентов ( $n=143$ ) в возрасте от 18 до 28 лет с целью изучения осведомленности о гигиене полости рта. Для проведения исследования были определены критерии включения и исключения.

*Критерии включения:* 1. Возраст 18–28 лет; 2. Наличие ортодонтических конструкций в полости рта (ретейнеры, брекететы); 3. Отсутствие конструкций в полости рта; 4. Отсутствие сопутствующих соматических патологий; 5. Пациенты, не проходящие антибактериальную терапию; 6. Отсутствие противопоказаний к проведению профессиональной гигиены; 7. Письменное информированное согласие на участие в исследовании в соответствии с этическими нормами. На каждого испытуемого заполнялась индивидуальная регистрационная карта.

*Критерии исключения:* 1. Возраст, не подходящий по критерию; 2. Наличие сопутствующих соматических патологий; 3. Пациенты, принимающие антибактериальные препараты на момент исследования и за последний месяц; 4. Наличие противопоказаний к проведению профессионально гигиены; 5. Отказ пациентов от участия в исследовании.

Все исследования выполнены с информированного согласия испытуемых и в соответствии с этическими нормами Хельсинской Декларации 2011 г. Исследование было одобрено Местным этическим комитетом учреждения Казанского научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии (согласно протоколу № 4, утвержденному 10.11.2023 г.)

Обследование пациентов проведено на базе кафедры терапевтической стоматологии Казанского государственного медицинского университета, в стоматологической поликлинике №9 Казани. Оценка гигиены полости рта производилась с помощью индекса Грина-Вермиллиона (Green, Vermillion, 1964). Жидкостью для выявления зубного налёта Curaprox окрашивали поверхности 6 зубов: 16, 11, 26, 31 — вестибулярные поверхности, 36, 46 — язычные поверхности. 0 баллов — отсутствие окраски, 1 балл — окрашена 1/3 поверхности коронки зуба, 2 балла — налёт, покрывающий более 1/3, но менее 2/3 поверхности зуба, 3 балла — более 2/3 поверхности. Оценку производили согласно критериям: 0–0,6 — хорошая гигиена; 0,7–1,6 — удовлетворительная гигиена; 1,7–2,5 — неудовлетворительная гигиена; 2,6–3,0 — плохая гигиена. [9] Профессиональная гигиена полости рта включала: ультразвуковую обработку пародонтальных карманов, снятие зубного налёта аппаратом Air-flow, полирование очищенных поверхностей, проведение реминерализующей терапии с помощью кап с фторсодержащими препаратами. По завершении даны

рекомендации (не употреблять пищу в течение 2-х часов, белая диета в течение 2-х суток, замена зубной щетки).

Забор материала на микробиологическое исследование производился натошак. Всем пациентам до забора материала было рекомендовано воздержаться от чистки зубов и ополаскивания полости рта. Материал для исследования микробной обсеменённости получали с пришеечной области зубов, с поверхности и в области фиксации ортодонтических конструкций, со слизистой оболочки полости рта. Забор материала осуществляли с помощью стерильного ватного тампона в динамике всех этапов исследования (n=6): 1 — до проведения профессиональной гигиены полости рта, 2 — сразу после процедуры, 3 — через сутки, 4 — через неделю, 5 — через 2 месяца, 6 — через 6 месяцев. Тампон помещали в пробирку с транспортной средой и доставляли в лабораторию микробиологии Казанского научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии. Микробиологическое исследование образцов проводилось классическими микробиологическими методами, выделение чистой культуры на селективных и дифференциально-диагностических средах. Идентификация видов микроорганизмов по общепринятым биохимическим и ферментативным свойствам. Культивирование микроорганизмов проводили в термостате при температуре 37 °C в течение 1–3 суток. Идентификацию грибов осуществляли с помощью коммерческой тест-системы: «Auxacolor 2» (Bio-Rad).

Полученные в процессе исследования результаты различия между показателями микроорганизмов выделенных с поверхностей зубов двух групп обрабатывали с помощью программной системы STATISTICA for Windows ver. 6.0. Критерием статистической достоверности получаемых данных считали общепринятую в медицине величину  $p < 0,05$ . А также, MedCalc Software Ltd. Точный калькулятор вероятности Фишера.

**Результаты**

Анкетирование участников исследования показало средний уровень гигиенической грамотности. Из 143 участников наличие ортодонтических конструкций отметили 30 человек (21 %): 24 человека (17,8 %) — имеют ретейнеры, 6 человек (4,2 %) — брекететы. 107 человек (74,8 % от выборки) чистят зубы 2 раза в день и более, 36 (25,1 %) чистят один раз в день, среди них 6 человек с ортодонтическими конструкциями. На вопрос о проведении профессиональной гигиены полости рта 65 респондентов (45,4 % от выборки) ответили, что никогда не делали процедуру, из них 6 человек с ортодонтическими конструкциями, 78 человек (54,6 % от выборки) делают регулярно, 2 раза в год, из них 24 имеют ортодонтические конструкции. Среди всех участников 15 человек (10,5 %) отметили, что не используют допол-

нительные средства индивидуальной гигиены, из них 1 человек с ортодонтическими конструкциями, остальные участники отметили использование ополаскивателя (38,5 %), монопучка (9,8 %), зубной нити (50,3 %), ирригатора (22,4 %), скребок для языка (30,7 %), зубных ёршиков (11,9 %) (рис. 1).

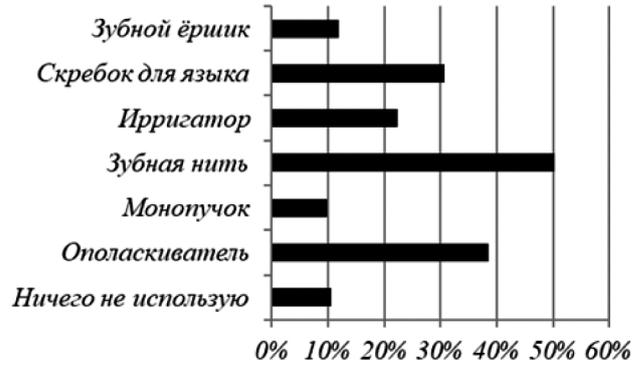


Рис. 1. Результаты анкетирования участников исследования по использованию дополнительных средств индивидуальной гигиены

По итогу анкетирования были отобраны две группы пациентов, которые вошли в дальнейшее исследование: 1 — пациенты, не имеющие ортодонтические конструкции — контрольная группа (n=30), 2 — пациенты с наличием ортодонтических конструкций — основная группа (n=30).

Индекс гигиены у пациентов первой группы до проведения профессиональной гигиены составлял  $1,7 \pm 0,27$  балла. У пациентов с наличием ортодонтических конструкций (2 группа) наблюдалось наибольшее окрашивание участков «область адгезии», «зазор по краям» и «область склеивания», а также на апроксимальных и пришеечных поверхностях зубов. Область адгезии — это область адгезива между брекетом и зубом. Зазор по краю — это область между адгезивом и зубом. Зона склеивания — это прямой участок зуба вокруг брекета или зоны фиксации ретейнера, где остаются излишки склеивания [6]. Индекс гигиены ортодонтических пациентов составляли: до процедуры ПГПР —  $1,6 \pm 0,17$  балла.

Проведенное микробиологическое исследование взятых мазков до процедуры ПГПР, выявило качественный и количественный состав микрофлоры поверхностей зубов ротовой полости пациентов двух основных групп: не имеющие ортодонтические конструкции и с наличием ортодонтических конструкций (рис. 2).

По результатам исследования выявлено, что микробный пейзаж поверхностей зубов был представлен полимикробной флорой, состоящей из условно-патогенных бактерий и микроскопических грибов. Бактериальная микрофлора преобладала среди выделенных культур микроорганизмов у пациентов всех групп. Среди грам-

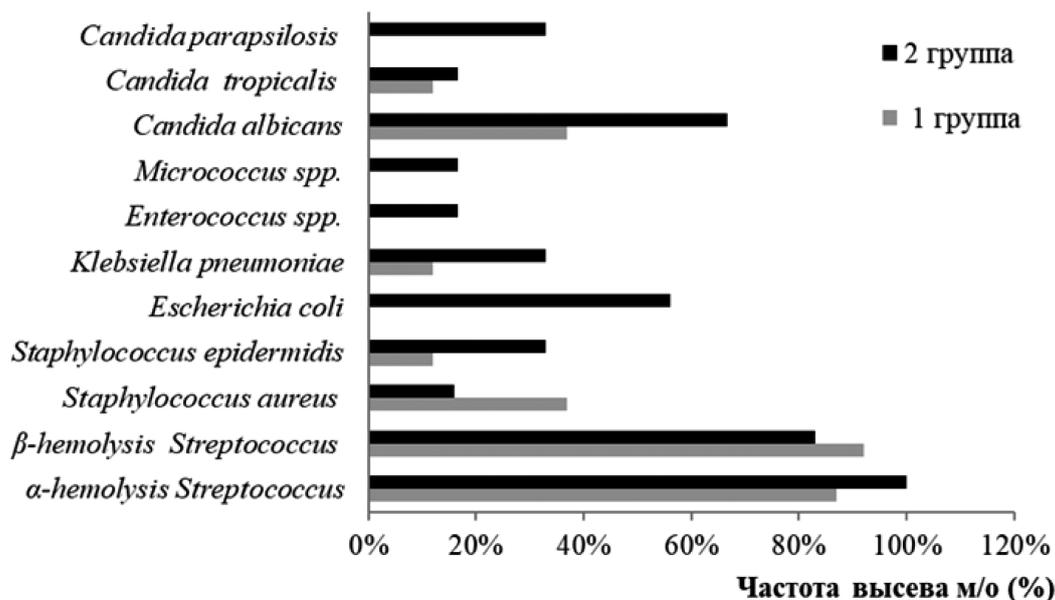


Рис. 2. Видовой состав микробного пейзажа поверхности зубов ротовой полости пациентов двух основных групп до проведения профессиональной гигиены полости рта: 1 группа — не имеющие ортодонтические конструкции; 2 группа — с наличием ортодонтических конструкций

положительных видов доминировали *Streptococcus spp.* (89,6 %), *Staphylococcus epidermidis* (35,9 %), среди грамотрицательных микробов — *Klebsiella pneumoniae* (21,6 %). Сравнительный анализ микробного биоценоза поверхностей зубов ротовой полости у пациентов двух групп показал отличия в частоте встречаемости условно-патогенных видов микроорганизмов. В группе пациентов с наличием ортодонтических конструкций наиболее часто высевались:  $\alpha$ -hemolysis *Streptococcus*, *Escherichia coli*, *Enterococcus spp.*, *Micrococcus spp.*, причем в этиологически значимых количествах ( $>10^4$  КОЕ/тамп.). Грибы рода *Candida* выделены у 31 (51,6 %) пациентов обеих групп. Среди дрожжевых грибов доминировали *C. albicans*, которые обнаружены у 28 (46,6 %) пациентов. *C. parapsilosis* выделена у 10 (33,3 %), *C. tropicalis* — у 9 (30,0 %) пациента ( $p < 0,05$ ) (рис. 2). У 11 (18,3 %) пациентов выделены ассоциации *C. albicans* и других видов *Candida*. Концентрация грибов в материале у пациентов группы 1 составила  $10^1$ – $10^3$  КОЕ/тамп., однако у пациентов с наличием ортодонтических конструкций (70 %), грибы выделены из ротоглотки в этиологически значимых количествах ( $>10^4$ – $10^5$  КОЕ/тамп.) ( $p < 0,05$ ).

В ходе исследования определены микробные ассоциации характерные для пациентов двух групп (рис. 3). В группе пациентов с наличием ортодонтических конструкций, поливидовые грибково-бактериальные ассоциации встречались значительно чаще и доминировали над поливидовыми бактериальными ассоциациями по сравнению с группой пациентов, не имеющих ортодонтических конструкций, на всех этапах исследования ( $P_1 = 0,0118$ ;  $P_2 = 0,00017$ ;  $P_3 = 0,0207$   $P_4 = 0,0207$ ;  $P_5 = 0,1159$ ;  $P_6 = 0,000004$ ), кроме этапа 5 (через

2 месяца после проведения ПГПР), где мы наблюдали увеличение количественного и качественного состава микрофлоры. Полученные данные демонстрирует наличие значимой связи между группой пациентов с ортодонтическими конструкциями и фактора — грибково-бактериальные ассоциации.

При анализе микробиологических результатов респондентов с ортодонтическими конструкциями (основная группа) и без них (контрольная группа) были определены следующие закономерности изменения микрофлоры после проведения профессиональной гигиены полости рта. Среди участников основной группы после процедуры в 83 % случаев наблюдалось снижение количества высеваемых видов, из которых у 60 % разнообразие микрофлоры сократилось более чем в 4 раза (рис. 4).

Необходимо отметить, что, в сравнение с контрольной группой (рис. 5) процент качественного уменьшения биоплёнки у лиц с ретейнерами и брекетами намного выше, что связано с большим разнообразием биоплёнки у респондентов второй группы.

При анализе изменения количественного и качественного состава микрофлоры двух групп в динамике всего исследования отмечалось снижение показателей на этапах 2–4. У респондентов второй группы до проведения ПГПР чаще обнаруживалась грамотрицательная флора — 83 %. После проведения процедуры грамотрицательная микрофлора высевалась у 40 % среди участников основной группы и у 30 % — контрольной группы, причем у большинства больных количественные пока-

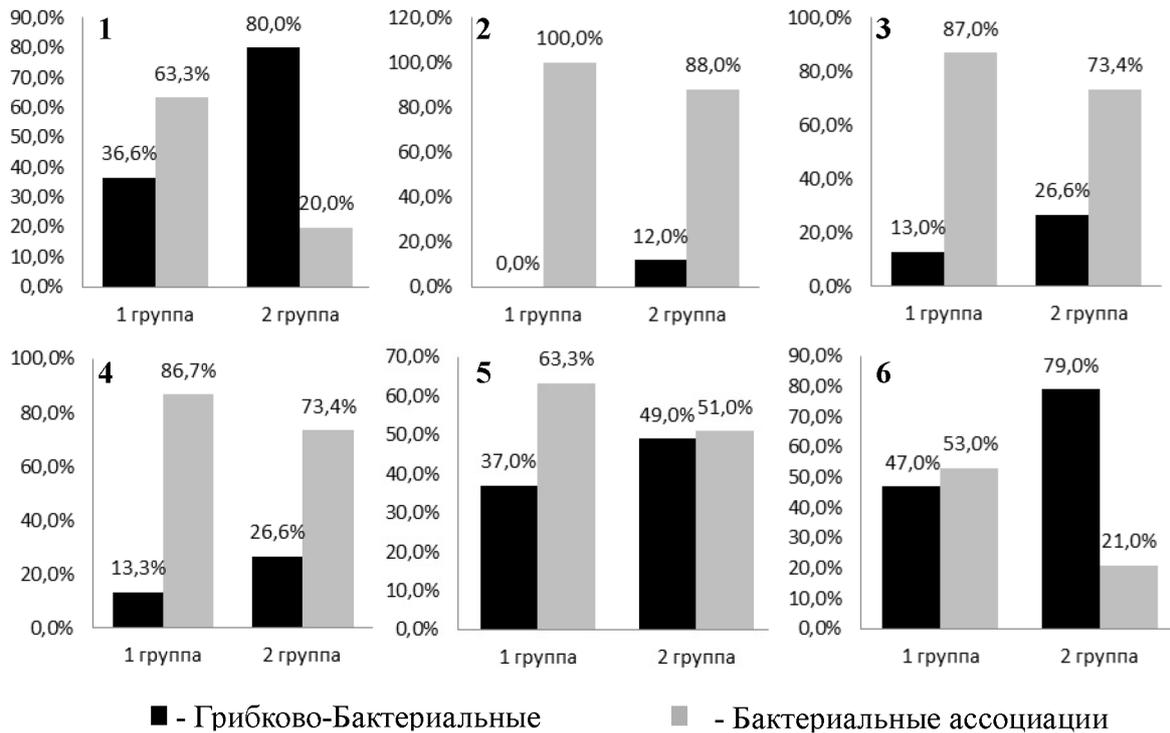


Рис. 3. Частота встречаемости бактериальных и грибово-бактериальных ассоциаций, выделенных от пациентов в динамике всех этапов исследования (n=6): 1 группа — не имеющие ортодонтические конструкции; 2 группа — с наличием ортодонтических конструкций.

Примечание: 1 — до проведения профессиональной гигиены полости рта; 2 — сразу после процедуры; 3 — через сутки; 4 — через неделю; 5 — через 2 месяца; 6 — через 6 месяцев

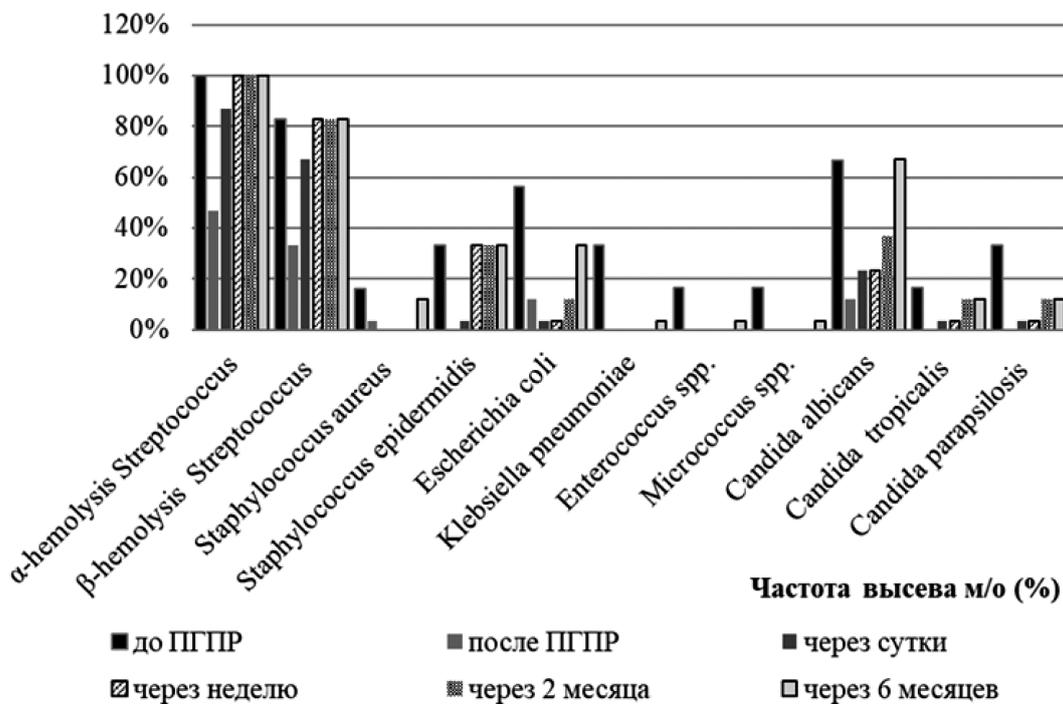


Рис. 4. Видовой состав микробного пейзажа поверхностей зубов ротовой полости пациентов, имеющих ортодонтические конструкции в динамике всех этапов исследования (n=6): 1 — до проведения профессиональной гигиены полости рта; 2 — сразу после процедуры; 3 — через сутки; 4 — через неделю; 5 — через 2 месяца; 6 — через 6 месяцев

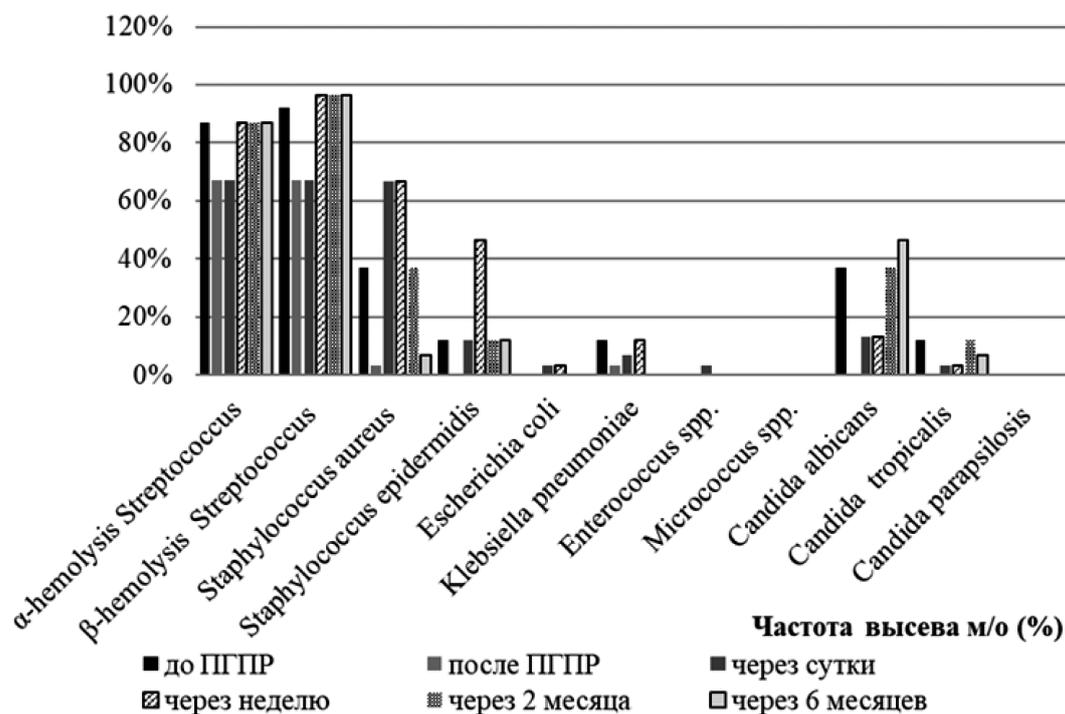


Рис. 5. Видовой состав микробного пейзажа поверхности зубов ротовой полости пациентов, не имеющих ортодонтические конструкции в динамике всех этапов исследования (n=6): 1 — до проведения профессиональной гигиены полости рта; 2 — сразу после процедуры; 3 — через сутки; 4 — через неделю; 5 — через 2 месяца; 6 — через 6 месяцев

затели сократилось с  $10^4$  КОЕ/тамп. до  $10^1$ – $10^2$  КОЕ/тамп. Однако, стоит отметить, что процент участников с сохранившейся грамотрицательной микрофлорой остался высоким, процедура сократила количество высеваемых грамотрицательных бактерий более, чем в 100 раз. Предполагаем, что сохранение *E. coli* в составе микрофлоры ротовой полости обусловлено высокой устойчивостью данной бактерии в окружающей среде. Мы не исключаем также наличие бессимптомных форм дисбиозов у некоторых респондентов, так как эшерихиям в здоровом организме свойственны определенные экологические ниши [11].

Стоит отметить, после проведения процедуры ПГПР, *Streptococcus spp.* был выявлен у 72,3 % участников исследуемых групп в количестве, не превышающем  $10^1$ – $10^2$  КОЕ/тамп: у 62 % участников стрептококки были единственной обнаруженной культурой после проведения процедуры. Такой высокий процент встречаемости *Streptococcus spp.* доказывает, что эти микроорганизмы первыми адгезируют к чистой поверхности зуба и составляют 60–90 % от всех видов бактерий, колонизирующих зубную поверхность в течение первых 4 часов после профессиональной чистки. Стрептококки обладают самой высокой внутриродовой и межродовой коагрегацией среди бактерий ротовой полости, благодаря чему они активно участвуют в процессе формирования биоплёнки путем адгезии на клетках хозяина и связывания других первичных колонизаторов. Кроме того, по-

сле проведения ПГПР были выявлены грибы *C. albicans*  $10^1$ – $10^2$  КОЕ/тамп. и *S. aureus*  $10^1$ – $10^2$  КОЕ/тамп., что может говорить о сохранившихся участках полимикробных биоплёнок.

Через сутки наблюдали изменения качественного состава микрофлоры в основной группе у 50 % участников, в контрольной группе — 85,7 %. У 17 % респондентов с ортодонтическими конструкциями наблюдали изменения вида микроорганизмов в пределах одного рода (*C. albicans* на *C. tropicalis*). Эти данные демонстрируют не только эффективность ПГПР в отношении снижения количественного и качественного состава микрофлоры поверхностей зубов ротовой полости, но и демонстрируют процесс биоплёнкообразования микроорганизмами в новых условиях обитания, сформированных после проведения процедуры: гладкость поверхностей зубов, увеличение pH слюны за счёт действия антацидного средства бикарбоната натрия и замены зубной щетки.

Через 2 месяца во всех исследуемых группах вновь обнаруживались качественные и количественные изменения в составе микрофлоры, что наглядно демонстрирует непостоянство биоплёнки. На данном этапе мы наблюдали постепенную стабилизацию состава микрофлоры. Практически у всех обследуемых были обнаружены стрептококки, стафилококки и грибы кандиды. Микробный состав у большинства исследуемых стал схожим, чего до процедуры не было. Однако, стоит об-

ратить внимание, что уже на 2-м месяце формирования биоплёнки *Streptococcus spp.* и *S. albicans* достигало исходных количественных значений. До процедуры ПГПР у 83 % респондентов второй группы высевалась грамотрицательная микрофлора, а через 2 месяца после ПГПР грамотрицательная микрофлора была обнаружена у 12 %. Несмотря на то, что наблюдалось снижение процента распространённости грамотрицательной микрофлоры у респондентов второй группы, достичь полного отсутствия не удалось. Что вероятно говорит о большой устойчивости грамотрицательных бактерий у людей с ортодонтическими конструкциями и о более подходящих условиях для контаминации.

Через 6 месяцев мы наблюдали увеличение качественного и количественного состава микрофлоры в группах исследования. Бактерии *Streptococcus spp.* был выявлен у 100 % участников, причём в количественных значениях он превалировал у пациентов с ортодонтическими конструкциями  $10^3$ – $10^5$  КОЕ/тамп, в сравнении с контрольной группой —  $10^2$ – $10^3$  КОЕ/тамп. Особое внимание на себя обратило наличие в микробиологических посевах грибов *Candida spp.* Грибы *C. tropicalis* были выявлены среди участников основной группы в количестве  $10^4$  КОЕ/мл, среди участников контрольной группы —  $10^2$  КОЕ/тамп. Присутствие *S. albicans* прослеживали на всех этапах исследования, на 6-м месяце количественные показатели были следующие: основ-

ная группа —  $10^2$ – $10^5$  КОЕ/тамп., контрольная группа —  $10^1$ – $10^3$  КОЕ/тамп. Присутствие данного вида на всех этапах исследования у большинства пациентов, а также его пропорциональный количественный рост по ходу работы, достигший исходных значений и превысивший их в ряде случаев, подобно *Streptococcus spp.*, может свидетельствовать о большой устойчивости данного вида и способности формировать биоплёнку в изменяющихся условиях среды.

Проведение оценки индекса гигиены у пациентов (рис. 6) в динамике всех этапов исследования показал, что у первой группы после проведения профессиональной гигиены, индекс составлял через 2 месяца —  $1,0 \pm 0,25$  балл, через 6 месяцев —  $1,3 \pm 0,21$  балла, что показало улучшение ситуации от начальных значений. У пациентов с наличием ортодонтических конструкций наблюдалось снижение индекса гигиены на начальных этапах исследования (через сутки —  $0,08 \pm 0,09$ , через неделю —  $0,8 \pm 0,06$ , через 2 месяца —  $1,6 \pm 0,12$  балла). Однако, уже через 6 месяцев индекс гигиены превысил первоначальные значения, и составил  $1,9 \pm 0,11$  балла (рис. 7).

Обсуждение

Данное исследование является попыткой охарактеризовать этиологическую значимость проведения

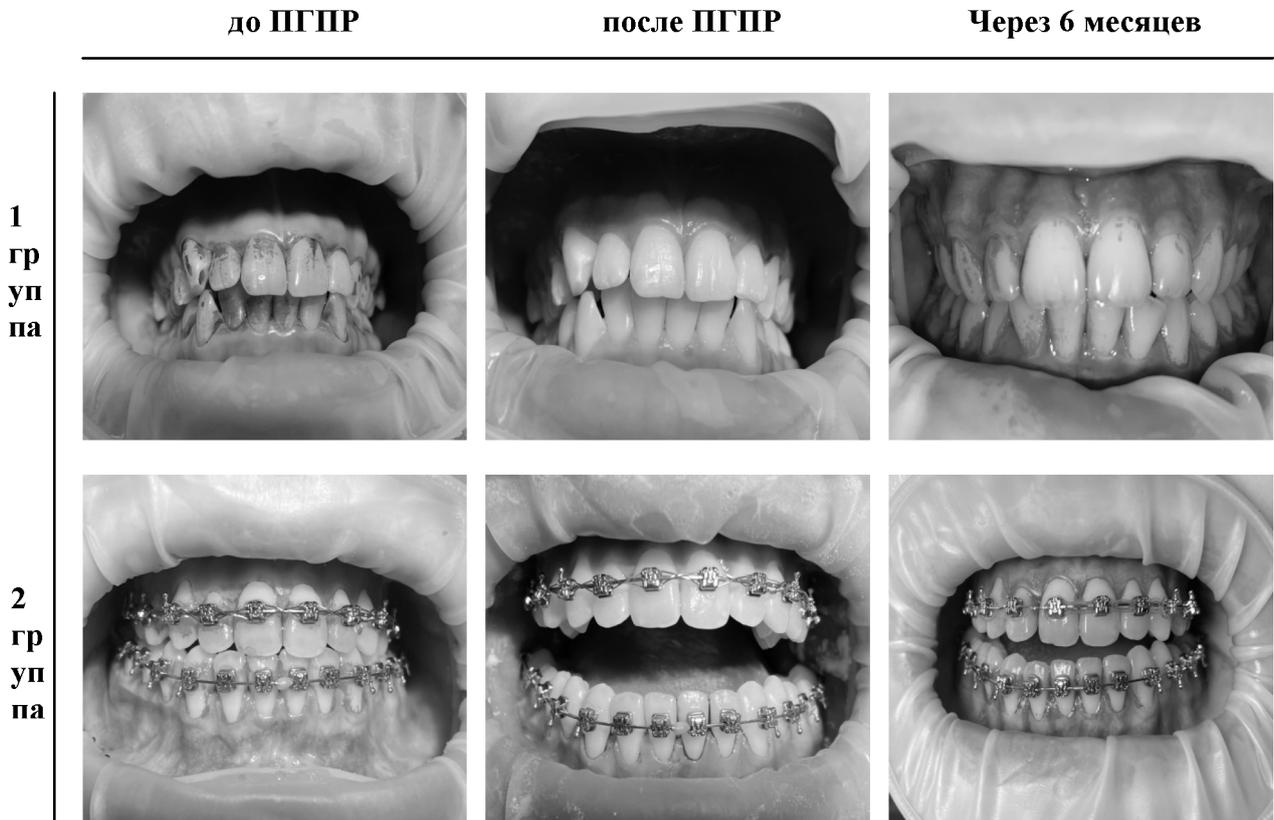


Рис. 6. Оценка гигиены полости рта с помощью индекса Грина-Вермиллиона у пациентов в динамике исследования

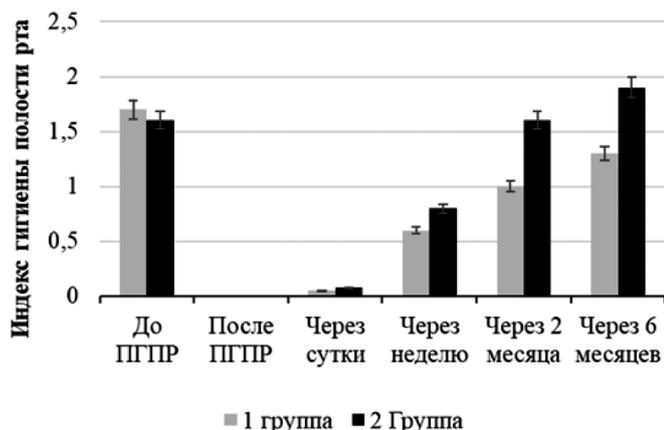


Рис. 7. Показатели индекса гигиены полости рта у пациентов в динамике всех этапов исследования: 1 группа — не имеющие ортодонтические конструкции; 2 группа — с наличием ортодонтических конструкций

процедуры — профессиональная гигиена полости рта, в отношении пациентов с наличием ортодонтических конструкций, где микробная биоплёнка играет значимую роль в патогенезе стоматологических патологий. Согласно клиническим рекомендациям, разработанным Стоматологической Ассоциацией России, принципы лечения больных со стоматологическими патологиями предусматривают одновременное решение нескольких задач, в том числе предупреждение рецидива воспалительных изменений в тканях пародонта, возникновения осложнений, предупреждение негативного влияния на состояние организма и качество жизни пациента. Профессиональная гигиена полости рта призвана сокращать видовое разнообразие и количество микроорганизмов в структуре микробной биоплёнки, что приведёт к снижению общей микробной нагрузки, а также снижению воспалительных цитокинов в организме человека [10]. Известно, что дентальная микробная биоплёнка находится в непосредственной близости от эпителия десны и, если не соблюдать надлежащие меры гигиены полости рта, эта наддесневая биоплёнка будет накапливаться вдоль эпителия десны и станет потенциальным источником воспаления десен [10]. Обычно считается, что дентальная биоплёнка по своей природе вредна и, если ее не разрушить, она может прогрессировать до пародонтита, при условии одновременного снижения реактивности организма. Сегодня существующие рекомендации по проведению ПГПР (А16.07.051) рекомендуют проводить процедуру согласно алгоритму 2 раза в год, т.е. раз в 6 месяцев. Однако проведенное нами исследование выявило необходимость проведения данной процедуры чаще у больных с наличием ортодонтических конструкций. Поскольку уже на начальном этапе исследования в группе с наличием ортодонтических конструкций, ко-

торые, согласно анкетированию, проводили регулярно 2 раза в год процедуру ПГПР, было обнаружено присутствие микробных биоплёнок с полимикробной флорой, состоящей из условно-патогенных бактерий и микроскопических грибов в этиологических значениях.

Проведенный нами анализ микробиологических исследований и показателей индекса гигиены полости рта у пациентов в динамике всех этапов работы, до и после проведения процедуры ПГПР, показал высокие адаптационные свойства у микроорганизмов, несмотря на увеличение рН слюны за счёт действия антацидного средства бикарбоната натрия и гладкости эмали после применения воздушного абразива. После проведения процедуры некоторые виды (*Streptococcus spp*, *E. coli* и *C. albicans*) продолжали высеваться в микробиологических посевах у 40 % среди участников основной группы, несмотря на низкие количественные показатели  $10^1$ – $10^2$  КОЕ/тамп. А уже на 2-м месяце формирования биоплёнки *Streptococcus spp*. и *C. albicans* достигало исходных количественных значений. К началу 6 месяца микробный пейзаж поверхностей зубов ротовой полости пациентов, имеющих ортодонтические конструкции, состоял из широкого спектра микроорганизмов, в том числе представителей кариесогенных бактерий. Индекс гигиены полости рта у пациентов с наличием ортодонтических конструкций ко второму месяцу достигал показателей начального этапа исследования, до проведения ПГПР, —  $1,6 \pm 0,12$  балла.

## Выводы

С учётом имеющихся данных можно сделать вывод, что процедура профессиональной гигиены полости рта является эффективным средством удаления биоплёнки с поверхностей зубов, особенно в группе пациентов с отсутствием ортодонтических конструкций. Однако в группе пациентов с наличием ортодонтических конструкций эффективность процедуры через два месяца снижается. Поскольку, микробиологическое исследование определило, что состав микрофлоры у пациентов данной группы отличается большим разнообразием и высокими количественными значениями. Возрастание количественных значений микрофлоры в высоких титрах после проведения ПГПР уже через два месяца, говорит о необходимости сокращения интервала между процедурами. Необходимо проводить долгосрочное исследование для оценки клинического результата вместе с микробиологической оценкой. В группе пациентов с наличием ортодонтических конструкций данная процедура требует постоянного микробиологического мониторинга.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Самойленко В.А. Причины, значение и роль воспалительных осложнений, возникающих в тканях пародонта при использовании брекет-систем // Вестник стоматологии. — 2014. — Т.88, № 3. — С. 96–99.
2. Jakavič R, Žarovič A. Changes in the pH and the Flow Rate of Saliva During Orthodontic Treatment with Fixed Orthodontic Appliances: A Systematic Review. // Turk J Orthod. — 2023. — Vol. 36, No. 3. — P. 199–207.
3. Hägg U, Kaveewatcharanont P, Samaranayake YH, Samaranayake LP. The effect of fixed orthodontic appliances on the oral carriage of *Candida* species and Enterobacteriaceae // Eur J Orthod. — 2004. — Vol. 26, No.6. — P. 623–629.
4. Лисовская С.А., Халдеева Е.В., Глушко Н.И., Паршаков В.Р. Оценка способности к формированию биопленок клиническими штаммами *Candida albicans*, выделенными при острых и хронических формах кандидоза кожи и слизистых оболочек // Проблемы медицинской микологии. — 2017. — Т. 19, № 1. — С. 31–33.
5. Seetaram M, Muralivel V, Nayak SU, et al. Comparative Analysis of Change in pH, Oral Health Status, and the Count of *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus* Species in the Oral Cavity in Patients with Gastroenteral Diseases Using Saliva: A Pilot Study. // J Int Soc Prev Community Dent. — 2021. — Vol. 11, No. 6. — P. 644–651.
6. Hennig CL, Blochberger B, Symmank J, et al. Effects of reducing excess dental adhesive on bacterial adhesion in the bracket periphery // Clin Oral Investig. — 2023. — Vol. 27, No. 5. — P. 1993–2001.
7. Антушева Т. И. Некоторые особенности влияния ультразвука на микроорганизмы // «Живые и биокосные системы». — 2013. №. 4. — С. 11.
8. Chandel S, Khan MA, Singh N, et al. The effect of sodium bicarbonate oral rinse on salivary pH and oral microflora: A prospective cohort study // National Journal of Maxillofacial Surgery. — 2017. — Vol. 8, No. 2. — P. 106–109.
9. Адамчук А.А., Лапина Н.В., Таиров В.В., Иващенко В.А., Байбакова О.В., Бондаренко А.Н. Методики индексной оценки состояния твердых тканей зуба и тканей пародонта. Краснодар: Изд-во «Плехановец», — 2022.
10. Shrivastava D, Natoli V, Srivastava KC, et al. Novel Approach to Dental Biofilm Management through Guided Biofilm Therapy (GBT): A Review // Microorganisms. — 2021. — Vol. 9, No. 9. — P. 1966.
11. Тюрин Ю.А., Анохин В.А. Роль кишечной палочки в норме и патологии у ребенка // Казанский медицинский журнал. — 2002. — Т. 83, № 1. — С. 49–52.

© Лисовская Светлана Анатольевна (S\_lisovskaya@mail.ru); Гришин Петр Олегович (phlus8@mail.ru);

Филимонова Екатерина Олеговна (ktilimonova@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЭКОМОНИТОРИНГОВЫЕ ОПИСАНИЯ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭТАЛОННЫХ БОЛОТНЫХ СООБЩЕСТВАХ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ РФ

## ECOMONITORING DESCRIPTIONS OF PRODUCTION-DESTRUCTION PROCESSES IN REFERENCE MARSH COMMUNITIES OF THE NON-BLACK EARTH REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION

**Ye. Nozdracheva**  
**M. Avramenko**  
**O. Chigrai**  
**R. Isaev**  
**L. Anishchenko**

**Summary.** The processes of formation of underground and aboveground phytomass in the bog tracts of the natural monument «Boloto Teploe» of the Karachevsky district of the Bryansk region are considered. The aim of the work is to identify the features of accumulation of organic matter and changes in the rate of decomposition processes using the example of reference communities of «Boloto Teploe» for the organization of biomonitoring studies within the framework of the carbon problem. Vegetation in the grassy and woody areas of the bog was inventoried. It was determined that the aboveground and underground phytomass is most significant for tall-grass communities of the *Cirsio oleracei-Piceetum abietis* association, as well as open bog tracts of the *Caricetum cespitosae* association, and swampy pine forests of the *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris* community. Significant indicators characterize the phytomass of trunks and leaves in sphagnum spruce and pine forests: biomass reserves vary depending on the size of trees and their number in the sample plot. The highest content of organic matter was recorded for tree communities in bog tracts, for the section of tall-grass spruce forest of the *Cirsio oleracei-Piceetum abietis* association community. The highest indicators of decomposition of organic residues were found for the conditions of communities of the *Climacio-Betuletum pubescentis* association, the lowest — for communities of the *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris* association. It was found that woody bogs in the reference areas make a greater contribution to carbon conservation (lower rate of decomposition of residues) compared to grassy bogs; more waterlogged grassy areas of bogs — conserve carbon better than less waterlogged ones, as well as hygrophytic meadow habitats.

**Keywords:** swamps, production, destruction processes, biodiversity, carbon cycle, Non-Black Earth Region of the Russian Federation.

**Ноздрачева Едена Владимировна**

кандидат биологических наук, доцент,  
 ФБОУ ВО «Брянский государственный университет  
 имени академика И. Г. Петровского»  
 e nozd-ev@mail.ru

**Авраменко Марина Васильевна**

кандидат биологических наук, доцент,  
 ФБОУ ВО «Брянский государственный университет  
 имени академика И. Г. Петровского»  
 avramenko\_marina84@mail.ru

**Чиграй Ольга Николаевна**

кандидат биологических наук, старший преподаватель,  
 ФБОУ ВО «Брянский государственный университет  
 имени академика И. Г. Петровского»  
 chigrai-olga@mail.ru

**Исаев Руслан Исагаджиевич**

аспирант, ФБОУ ВО «Брянский государственный  
 университет имени академика И. Г. Петровского»

**Анищенко Лидия Николаевна**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
 ФБОУ ВО «Брянский государственный университет  
 имени академика И. Г. Петровского»  
 eco\_egf@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены процессы образования подземной и надземной фитомассы в болотных урочищах памятника природы «Болото Тёплое» Карачевского района Брянской области. Цель работы — выявить особенности накопления органического вещества и изменение скорости процессов разложения на примере эталонных сообществ «Болото Тёплое» для организации биомониторинговых исследований в рамках карбоновой проблемы. Инвентаризирована растительность на травяных и древесных участках болота. Определено, что надземная и подземная фитомасса наиболее значительна для высокотравных сообществ ассоциации *Cirsio oleracei-Piceetum abietis*, также открытых болотных урочищ ассоциации *Caricetum cespitosae*, заболоченных сосняков сообщества *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris*. Значительными показателями характеризуется фитомасса стволов и листьев в ельниках сфагновых и сосняках: запасы биомассы изменяются в зависимости от размера деревьев и числа на пробной площадке. Наибольшее содержание органических веществ зарегистрировано для древесных сообществ в болотных урочищах, для участка высокотравного ельника сообщества ассоциации *Cirsio oleracei-Piceetum abietis*. Наибольшие показатели разложения органических остатков выявлены для условий сообществ ассоциации *Climacio-Betuletum pubescentis*, наименьшие — для сообществ ассоциации *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris*. Выявлено, что древесные болота на эталонных участках вносят больший вклад в сохранение углерода (меньшая скорость разложения остатков) по сравнению с травяными болотами; более обводнённые травяные участки болот — сохраняют углерод лучше, чем менее обводнённые, а также гидрофитные луговые местообитания.

**Ключевые слова:** болота, продукция, деструкционные процессы, биоразнообразие, цикл углерода, Нечерноземье РФ.

## Введение

Болотные сообщества различной степени сохранности, гидрологического режима и трофического статуса имеют статус не только как рефугиума биологического разнообразия, но и формируют буферную систему при дисбалансах в биогеохимических циклах углерода [1]. Обоснована ведущая роль обширных по площади болот в Сибирском и Северо-Западном округе в регулировании потоков углерода и снижении остроты карбоновой проблемы для России и мира в целом [2–4]. Староосвоенные территории Нечерноземья РФ и административный центр — Брянская область — потеряли обширные болотные местообитания в результате мелиоративных мероприятий и разработок: к настоящему моменту площади болот не превышают 3,4 % от общей и не являются доминирующим элементом ландшафтов. Однако данные созданной экомониторинговой базы по региону свидетельствуют о значительном вкладе болотных местообитаний в сток углерода. Значительная часть сохранившихся и восстанавливающихся после антропогенного вмешательства болот в Брянской области взята под охрану и для них отсутствуют данные по продукционно-деструкционным процессам и углеродному циклу. В связи с вышеизложенным цель работы — выявить особенности накопления органического вещества и изменение скорости процессов разложения на примере эталонных сообществ в обширном болотном массиве «Болото Тёплое» Карачевского района Брянской области достаточно актуальна.

## Материалы, методы и методики

«Болото Тёплое» — один из уникальных памятников природы Брянской области, болотные массивы которого включают много уникальных растительных сообществ с редкими видами [5]. Охраняемая региональная территория расположена в Пальцовском полесье на границе физико-географических провинций и ботанико-географических подзон широколиственных и хвойно-широколиственных лесов, растительный покров которого значительным образом изменён антропогенным воздействием [6]. В памятнике природы все сообщества подвергались преобразованиям при промышленной добыче торфа, однако за более чем 50-летний период сукцессионные процессы привели к мозаичному восстановлению и сохранению биоценозов, некоторые из них сохранили карбонатное водно-минеральное питание. Некоторые из сообществ ассоциаций растительности наблюдаются в рамках рекомендаций Зелёной книги Брянской области [7].

Растительные сообщества болотного памятника природы описывались в реперных точках на маршрутах согласно методике эколога-флористической классификации школы Ж. Браун-Бланке (1964); заложено 85

пробных площадок [8]. Учитывали число мохообразных в напочвенном покрове, а также на разложившемся валяе. Названия сообществ указаны согласно кодексу фитосоциологической номенклатуры; аналоги биоценозов описаны при исследовании других местообитаний. Для сообществ оценивалось альфа-разнообразие как видовое богатство и видовая насыщенность, бета-разнообразие — в понимании индекса разнообразия Симпсона [9].

Оценивали биологическую продуктивность укосным методом, подземную продукцию выявляли методом монолитов в июле-первой декаде августа. Запасы надземной фитомассы оценивали площадным методом: растительное вещество собирали с укосных площадок 25x25 см в 4-х повторностях, вычисляли среднее [10]. Запасы подземной фитомассы определяли в монолитах площадью 5x5 см глубиной до 15 см; опад — отмершие части травянистых и древесно-кустарниковых форм — собирали с площадок 25x25 см перед вырезанием монолита; учитывали и массу ветоши — отмерших частей растений, не потерявших связь с растением (для осок) [11].

Чистая первичная продукция рассчитывалась как сумма надземной и подземной биомассы [12, 13]. Пробы почвы отбирались общепринятым способом [14].

Аппликационным методом устанавливали скорость разложения целлюлозы (ЦА), выявляя активность целлюлаз; определяли потенциальную деструкцию (измерение в оптимальных статических экологических условиях в лаборатории) и актуальную (измерение непосредственно в природе). При наблюдении за потенциальной скоростью деструкции в качестве экспонированного материала использовали воздушно-сухую надземную биомассу. Растительные остатки экспонировали в течение 2 месяцев в почвах (субстратах) с того же участка. Активность целлюлозоразрушающих бактерий оценивали по шкале, разработанной Д.Г. Звягинцевым (1987) [15].

Эксперимент проводился в течение 2022–2024 гг., при этом погодные условия в годы проведения мониторинговых работ определялись как типичные для Брянской области, но за весь период наблюдений средняя температура была выше среднемноголетних значений на 2–4 градуса.

В почвенных образцах устанавливали содержание углерода по Тюрину ( $C_{орг}$ ), подвижные гуминовые вещества экстрагировали 0,1 М раствором  $Na_4P_2O_7$  при разведении 1:15 ( $C_{наб}$ ), определяли гидролитическую кислотность. Скорость разложения и потери углерода рассчитывали как процент от исходной массы и исходного содержания углерода.

Статистическую обработку данных проводили в пакете Microsoft Office Excel 2015, Statistica 10.0, использовали общепринятые статистические показатели [16].

### Результаты исследований и обсуждение

Заложенный ландшафтный профиль в пределах охраняемой территории охватывал древесные, древесно-кустарниковые, травяные сообщества разной степени эвтрофикации — от мезотрофных до евтрофных, а также увлажнения. Основные виды фитоценозов, изученные в мониторинге, следующие: сообщество ассоциации *Betuletum humilis* Steffen 1931 (редкий кустарниковый фитоценоз), древесно-кустарниковое сообщество ассоциации *Climacio-Betuletum pubescentis* Fedotov 1999, небольшой участок высокотравного ельника в сообществе ассоциации *Cirsio oleracei-Piceetum abietis* Kharlampieva, Anishchenko 2011, еловые чернично-сфагново-долгомошные леса сообществ ассоциации *Sphagno girgensohnii-Piceetum abietis* Polakowski 1962, сосновые кустарничко-сфагновые леса сообществ ассоциации *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris* de Kleist 1929;

травяные сообщества на заторфованных низинах сообществ ассоциации *Caricetum cespitosae* Steffen 1931, мезотрофные топяные сообщества (низинные травяные болота) ассоциации *Caricetum rostratae* Aszód 1935 (субассоциация *Caricetum rostratae comaretosum palustris* Bulokhov 2001), травяно-гипновые болота ассоциации *Caricetum diandrae* Jonas 1933, заторфованные олуговелые сообщества *Lysimachio vulgaris-Filipenduletum ulmaria* Balátová–Tulacková 1978. Основные характеристики растительности болотных урочищ указаны в таблице 1.

Запасы фитомассы показаны в таблице для фотосинтезирующей части (надземной) и нефотосинтезирующей (подземной) в сообществах ландшафтных урочищ памятника природы (таблица 2).

Надземная фитомасса характеризуется значительными показателями для высокотравных сообществ ассоциации *Cirsio oleracei-Piceetum abietis*, также открытых болотных урочищ ассоциации *Caricetum cespitosae*, заболоченных сосняков сообщества *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris*. В этих случаях на открытом болоте возрастает

Таблица 1.

Данные по биологическому разнообразию в древесных и травяных сообществах памятника природы «Болото Тёплое»

Показатели биоразнообразия	Сообщества ассоциаций								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Среднее число видов в местообитаниях (M±m)	38,52,5	40,7±2,5	82,4±4,1	36,8±1,9	58,5±2,3	87,2±2,9	37,5±1,7	32,7±1,3	55,7±1,5
Индекс Симпсона (M±m)	42,1±2,2	43,8±2,7	88,7±2,9	39,7±2,4	62,6±2,9	95,7±2,7	40,1±2,1	35,8±1,9	59,4±1,7
Среднее число мохообразных (M±m)	7,3±0,5	9,2±0,5	15,7±0,9	9,5±0,5	10,1±0,5	5,8±0,5	3,5±0,2	3,5±0,2	7,5±0,5

Примечание. Древесные и древесно-кустарниковые сообщества: 1 ассоциация (acc.) *Betuletum humilis* Steffen 1931. 2 acc. *Climacio-Betuletum pubescentis* Fedotov 1999. 3 acc. *Cirsio oleracei-Piceetum abietis* Kharlampieva, Anishchenko 2011. 4 acc. *Sphagno girgensohnii-Piceetum abietis* Polakowski 1962. 5 acc. *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris* de Kleist 1929. Травяные сообщества: 6 acc. *Caricetum cespitosae* Steffen 1931. 7 acc. *Caricetum rostratae* Aszód 1935 (субассоциация *Caricetum rostratae comaretosum palustris* Bulokhov 2001). 8 acc. *Caricetum diandrae* Jonas 1933. 9 acc. *Lysimachio vulgaris-Filipenduletum ulmaria* Balátová–Tulacková 1978.

Источник: Составлено автором на основании собственных исследований.

Таблица 2.

Показатели запасов фитомассы (г/м<sup>2</sup>) в древесных и травяных сообществах памятника природы «Болото Тёплое»

Показатели	Сообщества ассоциаций								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фитомасса надземная (M±m)	38,5±2,5	40,7±2,5	82,4±4,1	36,8±1,9	58,5±2,3	87,2±2,9	37,5±1,7	32,7±1,3	55,7±1,5
Фитомасса подземная (M±m)	42,1±2,2	43,8±2,7	88,7±2,9	39,7±2,4	62,6±2,9	95,7±2,7	40,1±2,1	35,8±1,9	59,4±1,7
Суммарное значение (M±m)	80,6±7,4	84,5±6,7	171,1±11,3	76,5±6,4	121,1±11,9	149,8±12,7	77,6±5,9	68,5±5,3	115,1±10,2

Примечание. Обозначения аналогичны таблице 1.

Источник: Составлено автором на основании собственных исследований

вклад травянистых растений в запас фотосинтезирующей биомассы, что характерно также для развитого травяного яруса высокоотравных ельников. Наибольшая подземная фитомасса выявлена также для этих сообществ ассоциаций; в биокосном теле под этими сообществами формируется масса корней травянистых растений и кустарников.

В травяных болотах вклад древесного и кустарникового яруса в продукцию невелик. Однако при оценке баланса углерода важно учитывать запасы биомассы древесного яруса лесных болот ввиду широкого распространения сосновых и еловых сообществ в болотах различного трофического статуса Нечерноземья РФ. Для древесных болотных сообществ также показан вклад в депонирование углерода в биомассе (таблица 3).

Вклад древесного яруса в общие запасы углерода фитомассы (г/м<sup>2</sup>) достаточно велик и должен рассматриваться в общем вкладе болот в поглощение углерода. Значительными показателями характеризуется фитомасса стволов и листьев в ельниках сфагновых и сосняках. Запасы биомассы изменяются в зависимости от размера деревьев и числа на пробной площадке. Аналогичные показатели получены для болотных сообществ северных болот [17].

Углерод депонируется и в биокосном компоненте болотных ландшафтов. Содержание органического вещества в субстратах (торфах, торфных почвах) в сообществах болот показано в таблице 4.

Показатели содержания органических веществ в субстратах и лабильной фракции несущественно различаются.

Таблица 3.

Показатели запасов фитомассы (г/м<sup>2</sup>) различных частей древесных растений сообществ урочищ болота Тёплое

Сообщества ассоциаций	Метрические показатели (M±m)			
	Побеговая масса (листья)	Стволы (побеги 1 и 2 порядка)	шишки	Высота деревьев, м / диаметр ствола, см
<i>Betuletum humilis</i>	856±17,9	4000±122,9	–	2,78 ±0,3 / 9,4±0,3
<i>Climacio-Betuletum pubescentis</i>	984±18,1	7850±165,7	–	5,7 ±0,4 / 14,7±0,9
<i>Cirsio oleracei-Piceetum abietis</i>	806±15,8	9260±177,2	83,5±6,4	12,9 ±1,1 / 33,8 ±3,1
<i>Sphagno girgensohnii-Piceetum abietis</i>	872±16,6	9657±183,4	79,4±6,8	16,7 ±1,5 / 41,1 ±3,7
<i>Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris</i>	863±16,1	9893±191,4	92,5±7,9	17,3 ±1,4 / 44,5 ±3,9

Источник: Составлено автором на основании собственных исследований.

Таблица 4.

Показатели содержания органических соединений и целлюлозолитическая активность субстратов в болотных ландшафтах

Сообщества	pH (H <sub>2</sub> O)	C <sub>орг</sub> (% M±m)	C <sub>лаб</sub> мг/100 г субстрата / % от C <sub>орг</sub> почвы	ЦА, % сутки M±m)
1	7,3	21,45±1,3	707 / 35,8	1,15
2	6,5	21,39±1,3	712 / 33,9	1,12
3	5,8	21,47±1,3	723 / 39,4	1,10
4	5,4	19,35±1,2	638 / 31,2	1,10
5	5,9	16,30±0,05	657 / 30,5	1,14
6	6,1	18,52±1,3	715 / 42,3	1,22
7	6,5	17,91±1,2	722 / 39,9	1,28
8	5,9	16,57±1,1	725 / 40,2	1,25
9	7,1	7,99±0,9	730 / 39,2	1,29

Примечание. Обозначения сообществ аналогичны таблице 1.

Источник: Составлено автором на основании собственных исследований.

ются для различных сообществ болотных ландшафтов. Наибольшее содержание  $C_{орг}$  зарегистрировано для древесных сообществ в болотных урочищах, для участка высокотравного ельника сообщества ассоциации *Cirsio oleracei-Piceetum abietis*, богатого гелофитами и евтрофными видами, с хорошо развитым горизонтом накопления гумуса, для сообщества с берёзой приземистой. Аналогичные показатели получены и для фракции лабильного органического вещества. Различия статистически недостоверны. Показатели ЦА относятся к средним, однако активность целлюлозолитических бактерий, оцененная косвенно, снижена в связи с двумя засушливыми летними сезонами, с количеством осадков, соответствующим 55 % от нормативных значений. Установлена положительная корреляционная связь между суммой среднемесячных осадков за летние месяцы и целлюлозолитической активностью ( $r = 0,72$ ). Также выявлена положительная сильная корреляционная связь с органическим углеродом и среднемесячными количествами осадков в июне, июле и августе ( $R^2=0,65$   $R=0,72$   $R^2=0,71$  соответственно).

Высвобождение углерода из различных компонентов фитомассы сообществ болот косвенно характеризу-

ет потери углерода. Для сообществ лесных и травяных болотных участков памятника природы «Болото Тёплое» указана актуальная скорость разложения растительных остатков различного происхождения (рисунок 1, 2).

Для экспериментальных лабораторных условий определение скорости разложения растительных остатков в лесных участках болота показало незначительное преобладание разложения травянистых и кустарниковых остатков над остатками мохообразных. Наибольшие показатели разложения выявлены для условий сообществ ассоциации *Climacio-Betuletum pubescentis*, наименьшие — для сообществ ассоциации *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris*.

Разложение остатков травянистых растений и небольшого количества биомассы мохообразных для участков травяных болот протекает быстрее, чем для древесных. Наибольшая доля разложившихся остатков (37 %) отмечена для сформированных в результате сукцессии постболотных сообществ ассоциации *Lysimachio vulgaris-Filipenduletum ulmaria*. Таким образом экспериментально выяснено, что древесные болота вносят

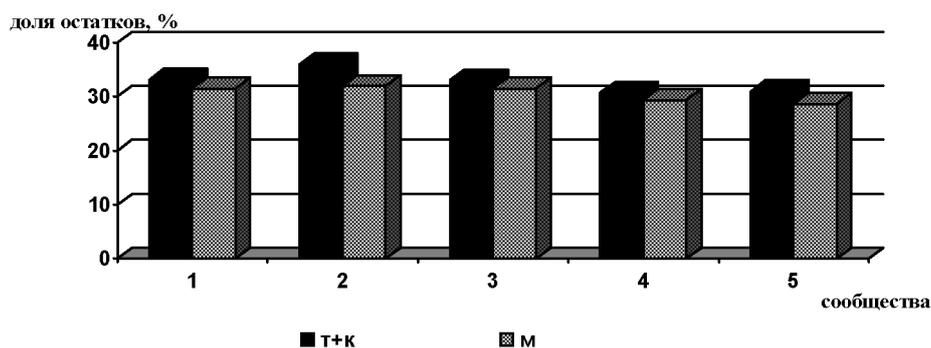


Рис. 1. Показатели разложившихся остатков фитомассы за экспонируемый период в сообществах древесных болот урочищ памятника природы

Примечание. Доля остатков, % — доля разложившихся растительных остатков в % за период в 2 месяца. Разлагающиеся остатки в эксперименте: т+к — остатки травянистых растений и кустарников, остатки мохообразных.

Наименование сообществ соответствует таблице 1.

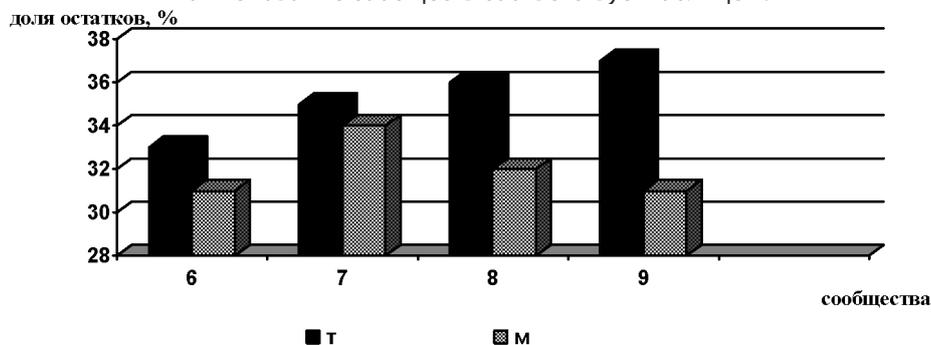


Рис. 2. Показатели разложившихся остатков фитомассы за экспонируемый период в сообществах травяных болот урочищ памятника природы

Примечание. Доля остатков, % — доля разложившихся растительных остатков в % за период в 2 месяца. Разлагающиеся остатки в эксперименте: т — остатки травянистых растений, остатки мохообразных.

Наименование сообществ соответствует таблице 1

большой вклад в сохранение углерода (меньшая скорость разложения остатков) по сравнению с травяными болотами; более обводнённые травяные участки болот — сохраняют углерод лучше, чем менее обводнённые, а также гигрофитные луговые участки.

Полученные результаты по уточнению вклада биотических, биокосных компонентов болотных сообществ в памятнике природы «Болото Тёплое» — один из первых этапов исследования роли болот обширного старосвоенного региона в углеродный цикл. Сравнительная характеристика содержания углерода в биокосном составе (субстратах) болот для Нечерноземья РФ в условиях Брянской области может быть дана только в сравнении с лугами различного трофического статуса и увлажнения. В почвах болотных участков содержится среднее количество углерода (Сорг) по сравнению с ксерофитными и мезофитными травяными участками [18].

### Заключение

Оценка запасов и составляющих баланса углерода болот в Брянской области и результатов многолетних исследований по южно-таёжной подзоне Западной Си-

бири позволила выделить сходные закономерности: в древесных болотах вклад в образование фитомассы вносят стволы и побеговая масса древесных растений; на участках древесных болот надземная фитомасса меньше, чем подземная, на участках травяных болот — подземная (корневая фитомасса) преобладает над надземной; чистая первичная продукция выше для урочищ травяных обводнённых болот по сравнению с лесными болотными сообществами [11, 13, 19]. Таким образом, в силу естественных климатических, почвенно-грунтовых и ботанических условий формирования болотных сообществ в условиях Брянской области они уступают болотам севера, северо-запада и востока РФ по накопительным возможностям углерода, однако их вклад в депонирование соединений углерода значителен, что подтверждается вышеописанными показателями, а также при увеличивающемся тренде увеличения стока углерода в болотные сообщества. Исследования биоценозов болотных участков ландшафтов памятника природы может служить базой для дальнейших сравнительных экомониторинговых работ в связи с присутствием на охраняемом природном объекте эталонных участков растительности.

### ЛИТЕРАТУРА

- Ballut-Dajud G.A. Factors affecting wetland loss: A review / G.A. Ballut-Dajud, L.C.S. Herazo, G. Fernández-Lambert, J.L. Marín-Muñiz, M.C.L. Méndez, E.A. Betanzo-Torres // *Land*. 2022. — Vol. 11. — 434. doi: 10.3390/land11030434.
- Mitra S. Global Inventory of the Wetlands and their role in the Carbon cycle / S. Mitra, R. Wassmann, P.L. G. Vlek. — № 64. — Bonn: Center for Development Research, 2023. — 44 p.
- Huang W. Vegetation and carbon sink response to water level changes in a seasonal lake wetland / W. Huang, X. Liu, L. Tian, G. Cui, Y. Liu // *Front. Plant Sci*. 2024. Vol. 15. 151445906
- Анищенко Л.Н. Мохообразные лесо-болотных комплексов Неруссо-Деснянского Полесья / Л.Н. Анищенко // *Бюллетень брянского отделения РБО*. — 2018. — № 3 (15). — С. 3–12.
- Крапивин Д.А. Предварительный анализ флоры Пальцовского полесья / Д.А. Крапивин // *Учёные записки Брянского государственного университета*. — 2022. — № 2. — С. 48–55.
- Природные ресурсы и окружающая среда субъектов Российской Федерации. Центральный Федеральный округ. Брянская область. — М., 2007. — 1144 с.
- Зелёная книга Брянской области (растительные сообщества, нуждающиеся в охране). — Брянск, 2012. — 146 с.
- Braun-Blanquet J. *Pflanzensoziologie*: 3. Aufl / J. Braun-Blanquet — Wien; New York, 1964. — 865 S.
- Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. — М.: Мир, 1992. — 182 с.
- Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. — М.: Россельхозакадемия, 1997. — 156 с.
- Головацкая Е.А. Биологическая продуктивность олиготрофных и эвтрофных болот южно-таёжной подзоны Западной Сибири / Е.А. Головацкая // *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. — 2009. — № 2. — С. 38–53.
- Титлянова А.А. Продуктивность травяных экосистем: Справочник / А.А. Титлянова, С.В. Шибарева. — М.: Изд-во МБА, 2020. — 100 с.
- Титлянова А.А. Круговорот углерода в травяных экосистемах при зарастании отвалов / А.А. Титлянова, Н.П. Миронычева-Токарева, Н.Б. Наумова // *Почвоведение*. — 1988. — № 7. — С. 164–174.
- ГОСТ 17.4.4.02-17 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. — М.: Стандартинформ, 2018. — 14 с.
- Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. — М.: Изд-во МГУ, 1987. — 255 с.
- Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. — М. Наука, 1990. — 296 с.
- Титлянова А.А. Изменение продуктивности болотных и травяных экосистем по широтному градиенту / А.А. Титлянова, Е.К. Вишнякова // *Почвы и окружающая среда*. — 2022. — Т. 5. — № 2. e176. <https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.176>
- Potsepai S.N. Soils of xerophytic meadows of the Middle Podesen'ya: on the issues of accumulation of organic substances and biochemical activity / S.N. Potsepai, L.N. Anishchenko, M.V. Semyshchev, P.P. Atroshenko // *Agrarian science*. — 2024. — Vol. 3. — P. 109–113. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-109-113>
- Коронатова Н.Г. Обзор исследований продукционно-деструкционных процессов в болотах Западной Сибири: методы и результаты / Н.Г. Коронатова // *Почвы и окружающая среда*. 2022. Т. 5. № 2. e170. <https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.170>.

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ

## SOLUTION OF ANTIBIOTIC RESISTANCE PROBLEMS

**G. Reshetnik  
E. Sheyko  
T. Sataieva  
P. Platonova  
G. Gasanov**

*Summary.* The problem of development of resistance of pathogenic microorganisms to antibiotics is one of the main problems of world medicine. Treatment of infectious diseases becomes less effective, the time of stay of patients in hospital increases, which entails the costs of treatment, and the mortality rate increases. Antibiotic resistance is characteristic of both pathogenic microorganisms and opportunistic ones. It is possible that bacterial resistance to antimicrobial drugs is dependent on excessive and uncontrolled use of antibiotics. Bacterial resistance also occurs with the acquisition of new genetic information at the level of expression of the bacterial cell's own genes, inactivation of the antibiotic by cellular enzymes, changes in the permeability of the cytoplasmic membrane, structural changes in the molecules that are targets for antibiotics, and its removal from the cell («efflux pump») before the antibiotic can act on the cell. Scientists studying antibiotic resistance are concerned that spending on finding new antimicrobial drugs and modifying existing ones continues to decrease against the background of the growth of bacteria with multiple drug resistance.

*Keywords:* antibiotics, resistance, pathogenic bacteria, resistance.

**Решетник Галина Васильевна**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
имени В.И. Вернадского», г. Симферополь  
reshetnikgv@gmail.com

**Шейко Елена Анатольевна**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
имени В.И. Вернадского», г. Симферополь  
lenasheyko@mail.ru

**Сатаева Татьяна Павловна**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
имени В.И. Вернадского», г. Симферополь  
tanzcool@mail.ru

**Платонова Полина Андреевна**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
имени В.И. Вернадского», г. Симферополь  
Polia.tarusova@yandex.ru

**Гасанов Гусейн Халис**

Врач акушер-гинеколог родильного отделения  
ГБУЗ РК «Симферопольская ЦРКБ», г. Симферополь  
doctorgasanov\_86@mail.ru

*Аннотация.* Проблема развития резистентности патогенных микроорганизмов к антибиотическим препаратам — одна из главных проблем мировой медицины. Лечение инфекционных заболеваний становится все менее эффективным, увеличивается время нахождения пациентов в стационаре, что влечет за собой затраты на лечение, а также увеличивается частота летальных исходов.

Антибиотикоустойчивость характерна как для патогенных микроорганизмов, так и для условно-патогенных. Не исключено, что медикаментозная устойчивость у бактерий зависит от чрезмерного и неконтролируемого применения антибиотиков, а также обусловлена приобретением новой генетической информации на уровне экспрессии собственных генов бактериальной клетки, инактивации антибиотика ферментами клетки, изменением проницаемости цитоплазматической мембраны, структурными изменениями в молекулах, являющихся мишенями для антибиотиков и удалением его из клетки («efflux pump») до того как антибиотик сможет воздействовать на клетку. Опасения ученых, исследующих антибиотикорезистентность, вызывает то, что продолжают сокращаться расходы на поиск новых антимикробных препаратов и модификацию уже имеющихся на фоне роста бактерий, имеющих множественную лекарственную устойчивость. Важным фактором предупреждения антибиотикоустойчивости является рациональное применение антибиотиков и предупреждение распространения антибиотикорезистентных возбудителей.

*Ключевые слова:* антибиотики, резистентность, патогенные бактерии, устойчивость.

Препараты с антибактериальным эффектом были введены в широкое медицинское применение уже в 20-х годах XX века после того, как А. Флемингом был открыт пенициллин. При этом сведения о выделении бактерий, устойчивых к антибиотикам, стали поступать уже в 1940 г., несмотря на то, что пенициллин широко не использовался в лечении инфекционных заболеваний. С этого периода проблема устойчивости бактерий к антибиотикам усугублялась и стала являться глобальной угрозой жизни и здоровью. Ученые полагают, что уже через 25 лет количество человек, погибших от инфекционных агентов, устойчивых к антибиотикам, достигнет 10 млн, что станет одной из ведущих причин смертности в мире [1].

В 2009 г. Американское общество инфекционных болезней [2] сообщило о существовании шести особо опасных антибиотикорезистентных патогенных бактерий, которые были объединены в группу ESKAPE: *Enterococcus faecium* (VRE), *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Klebsiella* spp. и *Escherichia coli* (с расширенным спектром бета-лактамаз — extended spectrum beta-lactamases (ESBL)), *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter* spp. Но уже через 8 лет после данного сообщения ВОЗ заявила, что список был расширен вдвое и теперь включал в себя уже двенадцать особо опасных для человека антибиотикорезистентных бактерий [3]. Таким образом, в сфере медицины и фармакологии одним из важнейших вопросов является борьба с бактериями, имеющими устойчивость к антибиотикам [4–6].

Решение данной проблемы должно проводиться по ряду направлений, среди которых исследователи выделяют поиск новых лекарственных средств антибактериального спектра и их продуцентов, модификации уже имеющихся антибиотиков, анализа генома бактерий для выявления новых мишеней действия, а также средств доставки антибиотиков непосредственно в очаг поражения и т.д.

В настоящее время считается, что бактерии вырабатывают устойчивость к антимикробным препаратам через механизмы «выкачивания» антибактериальных агентов из клетки; задействованием ферментов для изменения антибиотиков; изменений молекул — мишеней действия антибиотиков; сверхэкспрессии фермента, инактивируемого антибиотиком; изменения проницаемости клеточных мембран бактерий; продукции альтернативного метаболического пути; увеличения концентрации метаболита, являющегося антагонистом антибиотика; снижения количества или активности фермента, активирующего предшественника антибиотика; модификаций в регуляторных системах, не связанных с прямым механизмом действия антибиотика или снижения потребности в продукте ингибированного метаболического пути [7–8].

Поиск новых решений в аспекте борьбы с антибиотикоустойчивостью состоит не только в поиске новых лекарственных средств, но выработки стратегий, позволяющих снизить темпы роста резистентности и числа устойчивых бактерий к уже применяемым антимикробным препаратам.

Ферменты остаются идеальными мишенями для антимикробных препаратов, поскольку изменение химического действия фермента оказывает доказанное положительное влияние на течение инфекционного заболевания. Действительно, около половины всех современных лекарств ингибируют бактериальные ферменты [9]. Типичным представителем данного решения является совместное использование клавулановой кислоты (ингибитора фермента  $\beta$ -лактамазы) и  $\beta$ -лактаманых антибиотиков. Это позволяет инактивировать  $\beta$ -лактамазы, способные разрушить  $\beta$ -лактаманых антибиотиков. Клавулановая кислота имеет в своем составе  $\beta$ -лактаманое кольцо, что делает её «самоубийственным» ингибитором  $\beta$ -лактамаз [10].

Среди ингибиторов также можно упомянуть и антимикробные пептиды (АМП), представляющие собой естественно распространенную и разнообразную группу антибактериальных агентов. Могут быть перспективны ингибиторы, нацеленные на основные ферменты; например, LpxC, который является ферментом биосинтеза липида А в грамотрицательных бактериях и перспективной целью для разработки антибиотиков [11].

В борьбе с бактериями, устойчивыми к противомикробным препаратам немаловажную роль играют лантибиотики и бактериоцины. Термин «лантибиотик» обозначает рибосомально синтезированные антимикробные пептиды, которые обычно нацелены на предшественника клеточной стенки [12–13].

Бактериоцины, лантибиотики типа А, представляют собой белковые или пептидные токсины, вырабатываемые бактериями. Эти молекулы способны подавлять рост и развитие близкородственных штаммов бактерий или неродственных бактерий, но не наносят вреда исходным бактериям посредством специфических белков иммунитета.

Бактериоцины привлекли значительный интерес из-за своих свойств в качестве веществ, имеющих антимикробную, антипаразитарную и антивирусную активность. Кроме того, бактериоцины — перспективные агенты в борьбе с бактериальными биопленками. Бактериоцины являются белковыми веществами, секретуемые в рибосомах бактерий, которые находятся в окружении многих других бактериальных видов, часто — близкородственных [14].

Антимикробные пептиды (АМП) — это соединения, обладающие ингибирующей активностью в отношении микроорганизмов. В последние десятилетия АМП стали мощными альтернативными агентами, которые удовлетворяют потребность в новых противомикробных средствах для преодоления растущих проблем устойчивости к антибиотикам. Более того, недавние эпидемии и пандемии увеличивают популярность АМП из-за острой необходимости в эффективных антимикробных агентах для борьбы с новым появлением микробных заболеваний. АМП подавляют широкий спектр микроорганизмов, воздействуя в основном на клеточные мембраны или определенные внутриклеточные компоненты [15].

АМП производятся в различных организмах с использованием рекомбинантных методов. В последнее время прогнозируется, что синтетические аналоги АМП, разработанные с некоторыми модификациями, преодолеют ограничения стабильности, токсичности и активности, связанные с природными АМП. АМП, встречающиеся в природе, содержат от 10 до 50 аминокислот, обладают общим катионным зарядом и являются амфипатическими по своей природе [16].

В борьбе с антибиотикоустойчивостью довольно обнадеживающими являются результаты исследования наночастиц (НЧ). Точный механизм действия, посредством которого НЧ оказывают свою антимикробную активность, не до конца выяснен, но исследователи предполагают участие в этом трех процессов: генерации активных форм кислорода, высвобождения ионов металлов и неокислительных механизмов [17]. Данные процессы способствуют нарушению механической целостности мембраны бактерий и/или клеточной стенки; бактерицидному действию ионов, высвобожденных с поверхности НЧ; генерации активных форм кислорода, нарушению процессов клеточного дыхания, энергетических процессов клетки и процессов синтеза ДНК [18].

Перспективными в борьбе с антибиотикорезистентностью бактерий является также использование пробиотиков. Наиболее широко применяемые пробиотики представлены *Lactobacillus* и *Bifidobacteria*. Пробиотики имеют антимикробную активность по отношению к таким условно-патогенным или патогенным микроорганизмам, как *E. coli*, *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *S. typhimurium*, *B. subtilis* и *P. aeruginosa* [19].

Терапия моноклональными антителами (mAb) также является методом, позволяющим решать проблему устойчивости бактерий к антибиотикам. mAb, разработанные для бактериальных инфекций, нацелены на поверхностно экспонированные антигены или секретлируемые токсины, которые сейчас не разрабатываются в качестве мишеней действия антибиотиков, и соответственно, бактерии не смогут выработать механизмы антибиотикорезистентности [20].

В настоящее время существует 14 терапевтических моноклональных антител, находящихся на разных этапах исследования. Трое из них: раксибакумаб, обилтоксаксимаб и безлотоксумаб официально доступны для применения в медицинской практике. Их применение возможно при лечении инфекций, вызванных *Bacillus anthracis* и *Clostridium difficile* [21]. Также ряд моноклональных антител изучается как потенциальные лекарства против бактериальных и вирусных агентов.

В настоящее время ученые активно изучают бактериофаги, иногда называемые фагами, которые представляют собой вирусные частицы. Фаги могут размножаться внутри бактериальной клетки. Бактериофаг паразитирует внутри бактерии, в результате чего внутри нее синтезируются необходимые его компоненты для сборки вирусной частицы в последующем. Преимущество фагов состоит в том, что они не представляют собой опасности для человека и могут быть использованы для лечения инфекционных заболеваний даже у детей. [22].

Одной из основных проблем, с которой сталкиваются ученые при изучении антибиотиков, является плохая проницаемость клеток бактерий для антибиотиков. Разработка систем доставки антимикробных препаратов является перспективным подходом к улучшению проникновения антибиотика во внутриклеточное пространство. Одним из методов борьбы является изучение механизмов доставки железа бактериальным клеткам. Синтезированные искусственные аналоги сидерофоров могут быть использованы для обеспечения доставки антибиотиков внутрь бактериальной клетки.

Также уже более 30 лет ведутся исследования по использованию биоразлагаемых наночастиц для улучшения доставки лекарств. Наноинкапсуляция повышает эффективность и действенность противомикробных препаратов, защищая их от деградации, повышая точность нацеливания и увеличивая клеточный захват [23].

Сонодинамическая антимикробная химиотерапия (SACT) основана на синергетическом эффекте ультразвука и химического соединения, называемого «соносенситизатором», в процессе чего звук с частотой менее 20 кГц способен инактивировать микроорганизмы. При данном методе происходит сенситизация целевого участка нетоксичным соносенситизатором, относительно низкоинтенсивным УЗИ и молекулярным кислородом, который может производить микропузырьки посредством процесса акустической кавитации во время взаимодействия между волной УЗИ и клетками-мишенями [24].

Наряду с вышеописанным методом, активно изучается применение наночастиц металлических оксидов [25].

Одним из инновационных методов, перспективных в преодолении антибиотикоустойчивости бактерий, является трансплантация фекальной микробиоты. Данный подход уже был осуществлен в эксперименте и показал обнадеживающие результаты. Чаще всего данный метод рекомендуется для борьбы с размножением в ЖКТ пациента *Clostridium difficile*. При этом эффективность трансплантации фекальной микробиоты составляет 85–90 %. Кроме того, метод был применен для оздоровления кишечной микробиоты с активным ростом энтерококков, устойчивых к ванкомицину [26].

Таким образом, сегодня существует несоответствие между потребностью медицинской отрасли в новых антибактериальных препаратах и снижением темпов поиска и внедрению в практику противомикробных лекарств, что вызывает тревогу у исследователей. Наряду с поиском новых антибиотиков и их продуцентов необходимо искать и другие альтернативы, которые помогут

в борьбе с инфекционными агентами и не вызовут резистентности бактерий к ним.

В рамках мер, направленных на борьбу с устойчивостью бактерий к антибиотикам, необходимо аккумулировать багаж научных знаний, касающихся сведений в областях генной инженерии для поиска маркеров, обеспечивающих различные механизмы инфекционной защиты животных и человека; поиска путей передачи генов устойчивости в бактериальной популяции и путей их нарушения; поиска новых эффективных антимикробных препаратов с иными механизмами действия. Сегодня существующие наиболее эффективные методы борьбы с лекарственной устойчивостью бактерий предполагают использование бактериофагов, а также разработку новых вакцин. Перспективным является применение пептидных молекул, обладающих антибактериальной активностью, которые синтезируются широким кругом организмов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Temkin E., Carmeli Y. Zero or more: methodological challenges of counting and estimating deaths related to antibiotic-resistant infections / E. Temkin, Y. Carmeli // *Clinical Infectious Diseases*. — 2019. — V. 69. — №. 11. — P. 2029–2034.
2. Mancuso G. Bacterial antibiotic resistance: the most critical pathogens / G. Mancuso, A. Midiri, E. Gerace, C. Biondo // *Pathogens*. — 2021. — V. 10. — №. 10. — P. 1310–1320.
3. Efimenko T.A. Current state the problem of antibiotic resistance of pathogens / T.A. Efimenko, L.P. Terekhova, O.V. Efremenkova // *AntibiotKhimioter = Antibiotics and Chemotherapy*. — 2019. — V. 64. — №. 5–6. — P. 64–68.
4. Козлов Р.С., Голуб А.В. Остановить темпы роста антибиотикорезистентности микроорганизмов сегодня — дать шанс на выживание человечества завтра / Р.С. Козлов, А.В. Голуб // *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*. — 2019. — Т. 21. — №. 4. — С. 310–315.
5. Падейская Е.Н. Некоторые аспекты истории антимикробной терапии / Е.Н. Падейская // *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*. — 2010. — Т. 12. — №. 4. — С. 353–360.
6. Давидович Н.В. Основные принципы эволюции антибиотикорезистентности у бактерий (обзор литературы) / Н.В. Давидович, Н.Н. Кукалевская, Е.Н. Башилова, Т.А. Бажукова // *Клиническая лабораторная диагностика*. — 2020. — Т. 65. — №. 6. — С. 387–393.
7. Zhang F., Cheng W. The mechanism of bacterial resistance and potential bacteriostatic strategies / F. Zhang, W. Cheng // *Antibiotics*. — 2022. — V. 11. — №. 9. — P. 1215.
8. Шемякин И.Г. Новые возможности в борьбе с патогенными микроорганизмами / И.Г. Шемякин, В.В. Фирстова, Н.К. Фурсова, И.В. Абаев, С.Ю. Филиппович, С.Г. Игнатов, И.А. Дятлов // *Биохимия*. — 2020. — Т. 85. — №. 11. — С. 1615–1632.
9. Huttner A. Oral amoxicillin and amoxicillin-clavulanic acid: properties, indications and usage / A. Huttner, J. Bielicki, M.N. Clements, N. Frimodt-Møller, A. E. Muller, J.P. Pascaud, J.W. Mouton // *Clinical Microbiology and Infection*. — 2020. — V. 26. — №. 7. — P. 871–879.
10. Zhou P., Hong J. Structure- and ligand-dynamics-based design of novel antibiotics targeting lipid A enzymes LpxC and LpxH in Gram-negative bacteria / P. Zhou, J. Hong // *Accounts of chemical research*. — 2021. — V. 54. — №. 7. — P. 1623–1634.
11. Murugan R. Lantibiotics: an antimicrobial asset in combating aquaculture diseases / R. Murugan, A. Guru, B. Haridevamuthu, G. Sudhakaran, A. Arshad, J. Arockiaraj // *Aquaculture International*. — 2022. — V. 30. — №. 5. — P. 2365–2387.
12. Fernandes A. Properties, classification and applications of lantibiotics from Gram-positive bacteria / A. Fernandes, P. Yadav, O. Nalawade, S. Joshi, R. Jobby // *Lantibiotics as Alternative Therapeutics*. — Academic Press, 2023. — С. 411–425.
13. Simons A. Bacteriocins, antimicrobial peptides from bacterial origin: overview of their biology and their impact against multidrug-resistant bacteria / A. Simons, K. Alhanout, R.E. Duval // *Microorganisms*. — 2020. — V. 8. — №. 5. — P. 639–650.
14. Шамова О.В. Антимикробные пептиды врожденного иммунитета как прототипы новых средств борьбы с антибиотикорезистентными бактериями / О.В. Шамова, М.С. Жаркова, А.Н. Чернов, Е.В. Владимирова, М.С. Сухарева, А.С. Комлев, О.Л. Коченда, Д.С. Орлов // *Российский журнал персонализированной медицины*. — 2021. — Т. 1. — №. 1. — С. 146–172.
15. Talapko J. Antimicrobial peptides — Mechanisms of action, antimicrobial effects and clinical applications / J. Talapko, T. Meštrović, M. Juzbašić, M. Tomas, S. Erić, L. HorvatAleksijević, S. Bekić, D. Schwarz, S. Matić, M. Neuberg, // *Antibiotics*. — 2022. — V. 11. — №. 10. — P. 1417.
16. Wahab M.A. Silver micro-nanoparticle-based nanoarchitectures: synthesis routes, biomedical applications, and mechanisms of action / M. A. Wahab, L. Luming, M.A. Matin, M.R. Karim, M.O. Aijaz, H.F. Alharbi, R. Haque // *Polymers*. — 2021. — V. 13. — №. 17. — P. 2870.
17. Gómez-Núñez M.F. Nanoparticle-based devices in the control of antibiotic resistant bacteria / M.F. Gómez-Núñez, M. Castillo-López, F. Sevilla-Castillo, O.J. Roque-Reyes, F. Romero-Lechuga, D. Medina-Santos, A.N. Peón // *Frontiers in microbiology*. — 2020. — V. 11. — P. 563821.

18. Лаптев Г.Ю. Геномный и фенотипический потенциал антимикробной активности штамма бактерии *Bacillus megaterium* В-4801 / Г.Ю. Лаптев, Е.А. Йылдырым, Т.П. Дуняшев, Л.А. Ильина, Д.Г. Тюрина, В.А. Филиппова, С.Н. Биконя // Сельскохозяйственная биология. — 2020. — Т. 55. — №. 4. — С. 816–829.
19. Wang H. Anti-bacterial monoclonal antibodies: next generation therapy against superbugs / H. Wang, D.Chen, H.Lu // Applied Microbiology and Biotechnology. — 2022. — V. 106. — №. 11. — P. 3957–3972
20. Raj G. M. et al. Monoclonal antibodies against infectious microbes: so long and too little! / G.M. Raj, R. Priyadarshini, S. Murugesan, M. Adhimoalam // Infectious Disorders-Drug Targets (Formerly Current Drug Targets-Infectious Disorders). — 2021. — V. 21. — №. 1. — P. 4–27.
21. Zalewska-Piątek B., Piątek R. Bacteriophages as potential tools for use in antimicrobial therapy and vaccine development / B. Zalewska-Piątek, R. Piątek // Pharmaceuticals. — 2021. — V. 14. — №. 4. — P. 331.
22. Paul M. et al. Dental delivery systems of antimicrobial drugs using chitosan, alginate, dextran, cellulose and other polysaccharides: A review / M. Paul, S.D. Pramanik, R.N. Sahoo, Y.N. Dey, A.K. Nayak // International Journal of Biological Macromolecules. — 2023. — V. 247. — P. 125808.
23. Wang H. Update on nanoparticle-based drug delivery system for anti-inflammatory treatment / H. Wang, Y. Zhou, Q. Sun, C. Zhou, S. Hu, C. Lenahan, W. Xu, Y. Deng, G. Li, S. Tao // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. — 2021. — V. 9. — С. 630352.
24. Fan L. Sonodynamic antimicrobial chemotherapy: An emerging alternative strategy for microbial inactivation / L. Fan, A.I. Muhammad, B.B. Ismail, D. Liu // Ultrasonics Sonochemistry. — 2021. — V. 75. — С. 105591.
25. Небезина А.В., Фадеева Т.В. Перспективы создания антимикробных препаратов на основе наночастиц меди и оксидов меди / А.В. Небезина, Т.В. Фадеева // Acta Biomedica Scientifica. — 2021. — Т. 6. — №. 6–2. — С. 37–50.
26. Marcella C. Systematic review: the global incidence of faecal microbiota transplantation-related adverse events from 2000 to 2020 / C. Marcella, B. Cui, C.R. Kelly, G. Ianiro, G. Cammarota, F. Zhang // Alimentary pharmacology & therapeutics. — 2021. — V. 53. — №. 1. — P. 33–42.

---

© Решетник Галина Васильевна (reshetnikgv@gmail.com); Шейко Елена Анатольевна (lenasheyko@mail.ru); Сатаева Татьяна Павловна (tanzcool@mail.ru); Платонова Полина Андреевна (Polia.tarusova@yandex.ru); Гасанов Гусейн Халис (doctorgasanov\_86@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

## MANAGEMENT OF ORGANIZATIONAL SYSTEMS BASED ON INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGIES: METHODS AND ALGORITHMS FOR SOLVING MANAGEMENT PROBLEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

S. Aksenov

*Summary.* The article discusses modern approaches to improving automated information management systems of organizations using artificial intelligence technologies, neuroinformatics and hybrid expert systems. The importance of implementing intelligent components, such as knowledge processing systems, artificial neural networks, and combined technologies, is emphasized to solve complex management tasks, including assessing the state of an organization, predicting results, identifying patterns, and extracting knowledge from data. Special attention is paid to the role of neural network technologies in modeling, analyzing and predicting time series, as well as their application to support decision-making in conditions of uncertainty, risk and a dynamically changing environment.

*Keywords:* management of organizational systems, artificial intelligence, neural networks, hybrid expert systems, forecasting, decision support, management automation.

Создание автоматизированных информационных систем для управления организациями остается важной и актуальной задачей. Был накоплен значительный опыт как в теоретических, так и в практических аспектах разработки информационных систем для различных функций, включая производство, управление финансами, интегрированный учет и финансовый анализ, маркетинг, продажи и дистрибуцию готовой продукции. Кроме того, был достигнут значительный прогресс в разработке информационных систем, предназначенных для управления социальными институтами, такими как университеты. В данной статье рассматриваются стратегии, используемые для улучшения этих систем, с целью их переквалификации в информационные и консультационные системы. Важно подчеркнуть, что эти области особенно актуальны из-за нескольких факторов, включая современное состояние информаци-

**Аксенов Сергей Геннадьевич**  
д-р э.н., профессор,  
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий  
beregpiya@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются современные подходы к совершенствованию автоматизированных информационных систем управления организациями с использованием технологий искусственного интеллекта, нейроинформатики и гибридных экспертных систем. Подчеркивается важность внедрения интеллектуальных компонентов, таких как системы обработки знаний, искусственные нейронные сети и комбинированные технологии, для решения сложных управленческих задач, включая оценку состояния организации, прогнозирование результатов, выявление закономерностей и извлечение знаний из данных. Особое внимание уделяется роли нейросетевых технологий в моделировании, анализе и прогнозировании временных рядов, а также их применению для поддержки принятия решений в условиях неопределенности, риска и динамически меняющейся среды.

*Ключевые слова:* управление организационными системами, искусственный интеллект, нейронные сети, гибридные экспертные системы, прогнозирование, поддержка принятия решений, автоматизация управления.

онных технологий, инструментов искусственного интеллекта и нейроинформатики.

Компании сталкиваются со сложными взаимодействиями с внешними организациями. Ключевые задачи организационного менеджмента включают оценку состояния организации, выявление закономерностей, прогнозирование результатов и разработку стратегий. Для решения этих задач рекомендуется использовать экспертные системы и интеллектуальное программное обеспечение. Поэтому для поддержки более эффективного принятия решений предлагается усилить комплексную автоматизацию с помощью современных информационных технологий, математического моделирования, искусственного интеллекта, нейроинформатики и гибридных экспертных систем [1, 3, 5].

Системы поддержки принятия решений разрабатываются с использованием интерактивных экспертных систем, которые оценивают состояние бизнеса. Это предполагает внедрение интеллектуальных компонентов в информационные системы — программного обеспечения, использующего искусственный интеллект, обработку знаний, нейронные сети и комбинированные технологии для решения сложных, менее формализованных задач. Примеры таких задач включают оценку ситуаций, диагностику проблем, прогнозирование результатов, выявление закономерностей, группировку данных и извлечение знаний.

Общая задача поддержки принятия решений в интеллектуальной системе может быть выражена следующим образом:

$$Z = \langle X, K, K_3, P, R, F \rangle$$

В этой модели:  $X$  представляет собой набор исходных входных показателей, которые описывают состояние бизнеса и его деятельность;  $K$  — набор контрольных показателей, используемых для оценки того, насколько хорошо достигаются цели на различных уровнях управления;  $K_3$  означает экспертные мнения пользователей (менеджеров) на различных уровнях относительно критериев для достижения целей, достижение целей;  $P$  — набор рассчитываемых показателей эффективности для бизнеса на разных уровнях управления;  $R$  — набор формул и алгоритмов, используемых для преобразования входных показателей ( $X$ ) и существующих показателей эффективности ( $P$ );  $F$  — это функция, которая преобразует показатели эффективности ( $P$ ) в набор соответствующих им критериев оценки ( $K$ ).

Поскольку процесс сопоставления входных данных ( $X$ ) с критериями оценки может быть детерминированным, вероятностным или неопределенным, системы принятия решений соответственно классифицируются как работающие в условиях определенности, риска или неопределенности. Следовательно, способ, которым функции  $F$  и  $R$  преобразуют информацию в критериальные оценки, может варьироваться в зависимости от выбранной модели. Здесь зависимости  $R$  представляют собой математические модели, используемые для расчета экономических показателей. Преобразования  $F$  используются для получения функциональных оценок производственного и финансового состояния компании. Как упоминалось ранее, эти задачи нелегко формализовать, поэтому модели, использующие системы обработки знаний, нейронные сети или их комбинацию, наиболее эффективны для их описания [1, 2, 3]. Входные данные ( $X$ ) могут быть как дискретными, так и непрерывными, а также детерминированными или стохастическими.

Для решения описанных задач оптимизации на начальном этапе необходимо определить модели преоб-

разования  $K^u = F^u(P^u, K^{u3}, K^{u-1})$ . Эти модели определяют структуру интеллектуальных гибридных блоков, предназначенных для оценки состояния объекта на разных уровнях  $I^1, I^2, \dots, I^U$ . Эти блоки представляют собой иерархические гибридные экспертные системы, которые включают в себя различные методы представления знаний. Каждый интеллектуальный блок включает в себя компоненты как для оценки, так и для прогнозирования конкретного критерия  $K$ . Компонент прогнозирования повышает точность общей оценки, отражая действия менеджера, который при анализе деятельности учитывает прошлое, настоящее и будущее. Такой подход позволяет максимально эффективно использовать управленческий опыт и приводит к более реалистичной оценке. Эмпирические исследования с использованием реальных корпоративных данных подтверждают эти утверждения.

Решение любой задачи, даже менее структурированной, включает в себя различные этапы: структурирование, формализацию и уточнение. Цель этапа структурирования — создать четкий ациклический график, представляющий решение задачи. Для облегчения этого была создана автоматизированная система структурирования задач.

Этап формализации включает в себя определение задач в узлах графа взаимосвязей. Система гибко использует различные методы формализации, такие как интерпретаторы формул, экспертные системы, и искусственные нейронные сети. Для выбора подходящего метода формализации разработана система, основанная на критериях, включающих наличие формальной методологии, необходимость переобучения, важность прогнозов и уровень объяснений. Система является расширяемой, позволяя интегрировать новые методы. Для автоматизации выбора методов формализации узлов разработана экспертная система.

Из различных рассмотренных методов формализации более подробно будут рассмотрены искусственные нейронные сети. Справочник выделяет их ключевые преимущества для использования в информационных системах, включая возможности параллельной обработки, способность к автоматическому самообучению, надежность и устойчивость к помехам и повреждениям, регуляризирующие характеристики моделей нейронных сетей, а также возможность как моделировать, так и выбирать входные параметры, которые наиболее существенно влияют на оценку.

Нейронные сети могут применяться для моделирования, прогнозирования и анализа данных. В имитационном моделировании нейронные сети помогают разрабатывать эффективные стратегии моделирования и выбирать подходящие алгоритмы в компонентах принятия решений, повышая реалистичность и точность.

Например, они выбирают оптимальный алгоритм транспортировки в моделях продаж, график загрузки оборудования в производственных моделях и варианты приобретения запасов в моделях финансового рынка. Они также оценивают эффективность бизнеса и моделируют потоки данных и процессы.

Нейронные сети полезны для прогнозирования временных рядов, таких как финансовые показатели и спрос на продукцию, путем анализа рыночных тенденций с использованием данных компании. Данные для обучения включают исторические значения и качественные факторы. Нейронное прогнозирование включает в себя погружение, извлечение признаков, обучение, адаптивное прогнозирование и принятие решений, что обеспечивает улучшенную адаптивность и регуляризацию по сравнению с традиционными методами. Использование «консультаций» с несколькими нейронными сетями еще больше повышает точность прогноза. Эксперименты с реальными данными подтверждают преимущества нейросетевых технологий в прогнозировании финансовых показателей и спроса на продукцию.

Адаптивное прогнозирование корректирует значения индикаторов по мере поступления новых данных посредством автоматической переподготовки нейронной сети, что делает прогнозы более согласованными. Для краткосрочного прогнозирования рекомендуется ежедневная переподготовка с использованием режима скользящей выборки, при котором нейронная сеть переобучается с учетом последних данных перед каждым новым тестированием. Это легко реализуется в реальных информационных системах благодаря непрерывной обработке и обновлению данных, что позволяет оперативно обучать нейронную сеть.

Для выявления причин внезапных изменений числовых значений полезно использовать знания экспертов в соответствующем секторе экономики. Технические методы анализа данных, наряду с экспертными системами, построенными на системах обработки знаний, и методами качественной экспертной оценки, эффективны в решении этой проблемы. Это можно сделать в интерактивном режиме со специалистом или группой специалистов, использующих методы экспертной оценки для анализа результатов экспертизы. В качестве альтернативы, при полностью автоматизированном подходе, эффективными оказываются экспертные системы, основанные на логических и лингвистических моделях.

Для прогнозирования временных рядов может потребоваться сглаживание исходных данных. Была разработана система оценки, использующая дисперсионные и эвристические методы, и экспертная система анализирует эти результаты, чтобы определить, необходима ли фильтрация данных. При необходимости она выбирает

соответствующий метод сглаживания и параметры. Эта автоматизированная система отличается гибкостью и объединяет различные методы сглаживания. Предварительно обработанные данные затем используются для обучения или тестирования нейронных сетей. Эксперименты подтверждают эффективность этих адаптивных методов прогнозирования временных рядов в реальных экономических условиях.

Автоматизированная система прогнозирования, как показано на рисунке 1, использует несколько ключевых компонентов: выборку данных, предварительную обработку и интерпретацию данных, нейронную сеть, технический анализ и заключительный этап прогнозирования. Этап предварительной обработки также включает в себя модули для эвристического анализа, удаления выбросов, заполнения пробелов, фильтрации данных и погружения в данные.

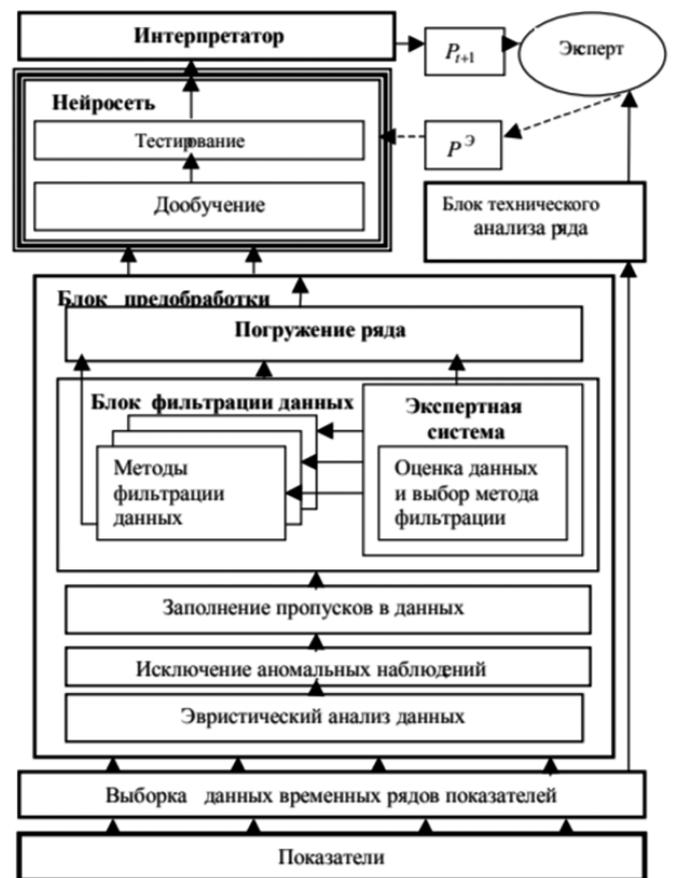


Рис. 1. Структура автоматизированной информационной системы прогнозирования показателей

Интернет-технологии помогают бизнесу собирать информацию о клиентах, поставщиках и рынках. Из-за большого объема данных автоматическое извлечение знаний становится критически важным. Нейронные сети, включая самоорганизующиеся карты Кохонена, эффективно анализируют и классифицируют данные по ха-

рактическим характеристикам (цены, качество, местоположение). Эти методы визуализируют результаты, выявляя кластеры компаний и помогая определять риски и возможности. Предварительно обученные нейронные сети поддерживают принятие решений, упрощая взаимодействие с клиентами и поставщиками.

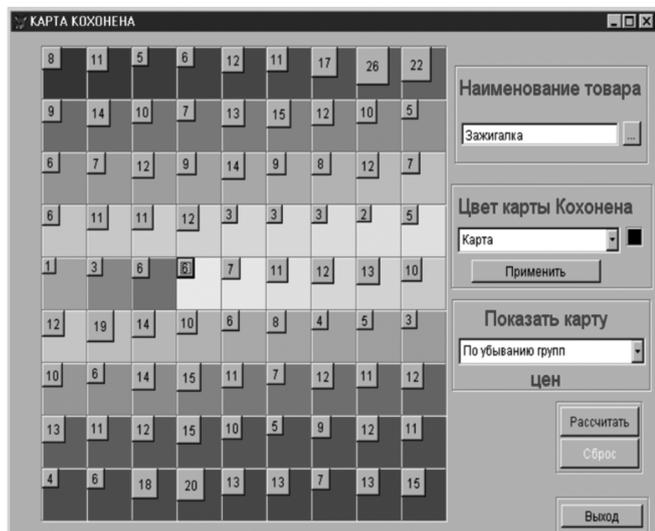


Рис. 2. Карта Кохонена с кластерами данных предприятий

В усовершенствованных системах управления информацией организации компоненты нейронных сетей интегрированы в гибридные экспертные системы для оценки и прогнозирования состояния управляемого объекта. Включение нейронных сетей в эти системы изменяет процессы разработки и эксплуатации, а также содержание каждого этапа жизненного цикла. На этапе проектирования теперь требуется обучение блоков нейронной сети, в то время как в процессе эксплуатации требуется непрерывная переподготовка. Возросшая сложность разработки информационных систем подчеркивает необходимость в инструментах автоматизированного проектирования.

Теперь мы рассмотрим структуру и функции нейронного симулятора как компонента системы автоматизированного проектирования, используемой для разработки аналитических информационных систем. В рамках этих информационных систем нейрокомпьютер выступает в качестве интеллектуального элемента, включающего менеджер (модуль управления), интерфейсы ввода и вывода, препроцессор, задачник, интерпретатор и нейронный симулятор. Сам этот нейронный симулятор состоит из сети, преподавателя, контрастного вещества, блока оценки и конструктора (как показано на рис. 3).

Была разработана технология проектирования компонентов нейронной сети, включающая в себя ключевые этапы: предварительную обработку данных, выбор параметров, обучение и оценку модели, которые при

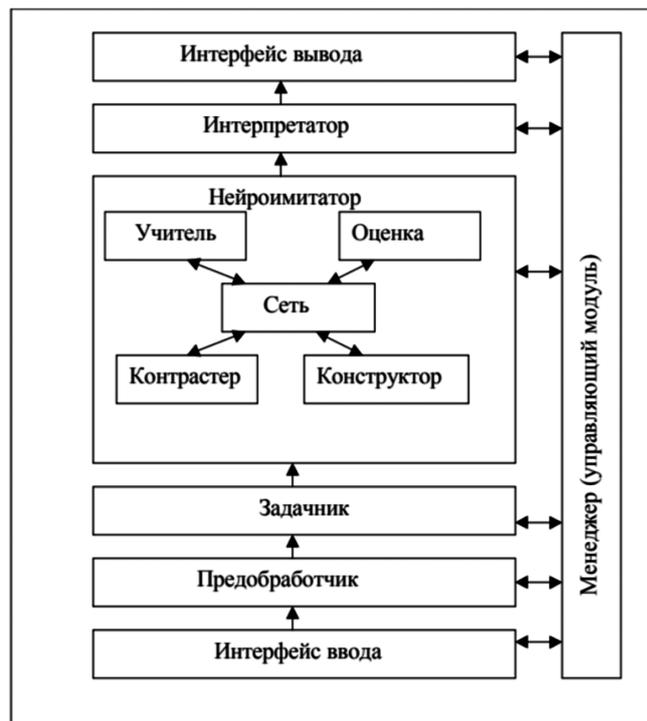


Рис. 3. Структура нейросетевого интеллектуального блока

необходимости повторяются итеративно. Помимо режима начального обучения, существует непрерывный, автоматизированный и прозрачный режим обучения на месте. Отслеживая предметную область, нейронный симулятор автоматически корректирует входные параметры, структуру, параметры обучения и методы, а также обнаруживает и предотвращает неправильные примеры обучения.

Блок нейросимулятора, который действует как препроцессор в информационных системах, был дополнен дополнительными элементами для решения таких задач, как удаление аномальных точек данных, эвристический анализ данных, фильтрация данных, заполнение пропущенных значений и погружение в данные.

Динамически изменяющиеся обучающие выборки необходимы в качестве входных данных для каждого интеллектуального компонента информационных систем. Рабочие тетради создаются на основе баз данных в соответствии с производственными процессами и процессами управления. При прогнозировании существуют различные варианты создания и включения информации. Важно рассмотреть возможность создания/обновления архивов и создания обучающих выборок, соответствующих этапам обработки информации.

Компонент, интерпретирующий ответы нейронной сети, имеет решающее значение для взаимодействия с пользователем. Важен эффективный дизайн интер-

фейса. Необходимы специальные блоки интерпретации, включающие масштабирование, семантические, графические, аудио-, видео-, мультимедийные представления и пояснительный компонент. Важны семантика, синтаксис и описания элементов нейронного симулятора. Усилия сосредоточены на организации пользовательских интерфейсов с аналитическими системами через Интернет.

С интерпретатором ответов тесно связан еще один важный компонент нейрокомпьютера — блок оценки. Для обеспечения качества работы нейронной сети и эффективности ее обучения были выбраны специальные методы оценки. Эти методы включают стандартную оценку методом наименьших квадратов, метод наименьших квадратов с допуском и, для задач классификации, расстояние до набора правильных ответов.

Компонент «учитель» управляет начальным обучением и переподготовкой искусственных нейронных сетей. Для оценки, диагностики и прогнозирования используются многослойные сети с сигмовидной функцией активации, обучаемые с использованием алгоритмов, основанных на дуальности. Был разработан метод автоматизированного построения структуры нейронной сети, учитывающий эффективность при неполных обучающих выборках, возможность увеличения сложности в процессе обучения и сохранение приобретенных навыков. Он использует динамические узлы для ускорения обучения и сохранения навыков путем фиксации определенных параметров сети. Контрастная нейронная сеть, разработанная с использованием стандартных методов, используется для адаптации нейронного симулятора к конкретной предметной области.

Для обеспечения надежной работы информационных систем была разработана технология оценки и коррекции нейросетевых моделей. Это важно, поскольку обучение на реальных данных не всегда завершается успешно из-за ошибок обобщения, локальных минимумов или преждевременной остановки. Для решения этой проблемы реализованы следующие этапы автоматической коррекции: формирование комитетов нейронной сети; изменение типа или параметров функции оценки; изменение структуры или параметров нейронной сети; и применение методов предварительной обработки данных.

В реальной информационной системе для адаптации к изменениям в выборочных данных необходимо непрерывное обучение (переподготовка) нейросетевого решателя. Поскольку экспертные знания не всегда могут быть доступны для обучения под наблюдением, система использует автоматический процесс обучения для обеспечения надежного функционирования 1. В та-

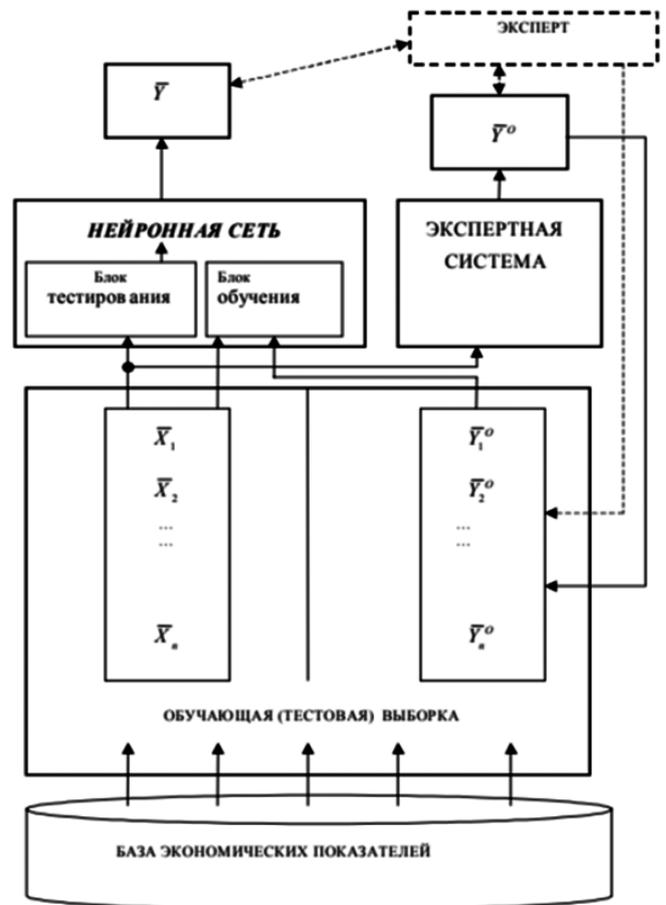


Рис. 4. Функционирование нейросетевого решателя в режиме автоматического обучения

ких ситуациях специально разработанная экспертная система, разработанная в ходе разработки информационной системы, выступает в роли «учителя», генерируя экспертные заключения на основе входных данных для обучения компонента нейронной сети 2. Такой подход позволяет нейронной сети продолжать обучение и адаптацию даже без постоянного контроля со стороны человека.

Таким образом, использование современных технологий искусственного интеллекта и нейроинформатики открывает новые горизонты для развития информационных систем управления организациями. Это позволяет не только повысить эффективность бизнес-процессов, но и обеспечить конкурентное преимущество за счет более точного прогнозирования, своевременного выявления рисков и оптимизации управленческих решений. Однако дальнейшее развитие данной области требует углубленных исследований, направленных на совершенствование методов обработки данных, повышение надежности моделей и расширение их применения в различных сферах экономической деятельности.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.Г., Егорова О.В. Теоретические основы управления организационными системами // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки» — 2024. — №8. С. 50–56.
2. Пятковский О.И. Интеллектуальные компоненты автоматизированных информационных систем управления предприятием. Монография. — Барнаул: АлтГТУ. — 1999. — 351 с.
3. Пятковский О.И., Рубцов Д.В., Бутаков С.В. Система анализа финансово-хозяйственных показателей деятельности предприятия // Информационные технологии. — 1999. — №8. — С. 31–34.
4. Горбань А.Н., Россиев Д.А. Нейронные сети на персональном компьютере. — Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. — 276 с.
5. Нейроинформатика / А.Н. Горбань, В.Л. ДунинБарковский, А.Н. Кирдин, Е.М. Миркес, А.Ю. Новоходько, Д.А. Россиев, С.А. Терехов, М.Ю. Сенашова, В.Г. Царегородцев. — Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1998. — 296 с.
6. Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн.2 Модели и методы. Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. — М.: Радио и связь, 1990. — 304 с.
7. Hristev R.M. The ANN Book. — 1998.— 374 p.
8. Kohonen T. Self-Organizing Maps. Berlin: Springer-Verlag, 1995.

---

© Аксенов Сергей Геннадьевич (beregpiya@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДАХ: ИНТЕГРАЦИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ И ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

## FIRE SAFETY MANAGEMENT SYSTEM AT OIL REFINERIES: USE CASE INTEGRATION AND DECISION SUPPORT

**S. Aksenov  
E. Muginova**

*Summary.* The article explores the potential of using a database of use cases based on a frame model for managing fire safety at oil refineries. It emphasizes the importance of establishing criteria for describing precedents and creating a structured approach to processing analytical data. This enables the comparison and identification of similar use cases through the development of a data processing algorithm. A practical example illustrates the feasibility of searching for fire extinguishing precedents at a refinery pumping unit, highlighting the potential for creating a decision support system to address this scientific challenge.

*Keywords:* precedent method, fire safety, oil refinery, frame model, functional model, decision support system.

**Аксенов Сергей Геннадьевич**

д-р э.н., профессор,

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий  
beregpiya@mail.ru

**Мугинова Елена Радиковна**

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий  
pavel1112w@mail.ru

*Аннотация.* В статье исследуется потенциал использования базы данных прецедентов, основанной на фреймовой модели, для управления пожарной безопасностью на нефтеперерабатывающих заводах. Подчеркивается важность установления критериев для описания прецедентов и создания структурированного подхода к обработке аналитических данных. Это позволяет сравнивать и выявлять схожие варианты использования путем разработки алгоритма обработки данных. Практический пример иллюстрирует целесообразность поиска прецедентов тушения пожаров на насосной установке нефтеперерабатывающего завода, подчеркивая потенциал создания системы поддержки принятия решений для решения этой научной задачи.

*Ключевые слова:* метод прецедентов, пожарная безопасность, нефтеперерабатывающий завод, фреймовая модель, функциональная модель, система поддержки принятия решений.

Многие жители страны проживают вблизи нефтеперерабатывающих заводов, которые занимаются добычей, хранением, переработкой и транспортировкой горючих углеводородов. Эксплуатация данных объектов сопряжена со значительным риском из-за возможности возникновения крупных пожаров, которые могут привести к возникновению обширных зон чрезвычайной ситуации, что затруднит их локализацию в силу характера их деятельности.

Предприятия, особенно нефтеперерабатывающие заводы, представляют собой сложные системы, требующие контролируемых операций. Однако сложность управления многочисленными параметрами контроля и системами пожарной безопасности на нефтеперерабатывающих заводах повышает вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций. Исторические примеры нарушений пожарной безопасности могут быть использованы для создания базы знаний, которую ученые используют для выявления и прогнозирования подобных инцидентов.

Чтобы максимально эффективно использовать ценную информацию о противопожарной защите на нефтеперерабатывающих заводах, необходимо внедрить процесс поиска прецедентов.

Был проведен всесторонний обзор использования прецедентного метода в управлении безопасностью сложных систем с акцентом на моделирование систем принятия решений для управления безопасностью, как это видно из работ нескольких исследователей (В.Н. Бурков, Д.А. Новиков [1], Д.В. Тупиков [2], Ю.Н. Шебеко, А.В. Минаев, Н.Г. Топольский [3], О.А. Николайчук [4]). Однако в этих исследованиях отсутствуют исследования по разработке систем поддержки принятия решений специально для управления пожарной безопасностью на нефтеперерабатывающих заводах с использованием подхода, основанного на прецедентах.

Цель состоит в том, чтобы добиться точного реагирования и принятия решений путем параметризации прецедентов тушения пожаров на нефтеперерабатывающих заводах и создания базы данных по этим прецедентам.

С системной точки зрения, взаимодействие различных компонентов системы безопасности должно быть реализовано таким образом, чтобы предотвратить переход в кризисный режим. Соответствие этому критерию демонстрирует, что модель управления эффективно удовлетворяет системные потребности объекта.

Технология функционального моделирования IDEF0 используется для формализации процессов.

Цель моделирования — описать, как работает информационная система пожарной безопасности, что дает четкое представление о ее функционировании с точки зрения противопожарной защиты. Рисунок 1 иллюстрирует организацию работы нефтеперерабатывающего завода в виде контекстной диаграммы.

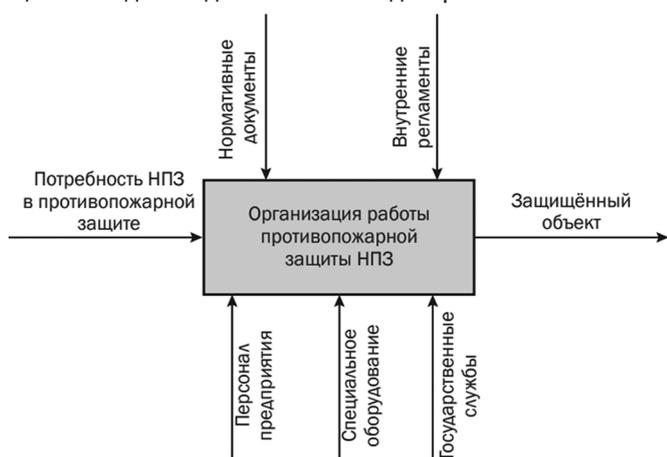


Рис. 1. Контекстная диаграмма организации работы системы противопожарной защиты НПЗ

Как показано на схеме, функционирование первичной системы противопожарной защиты обусловлено необходимостью выполнения требований безопасности

предприятия (входные данные). Надлежащая организация приводит к тому, что объекты нефтеперерабатывающего завода находятся в защищенном состоянии (выходные данные). Для достижения этого результата важно следовать соответствующим нормативным документам (руководству) и четко определять роли конкретного персонала и используемые технические ресурсы (механизм) [2].

На рисунке 2 представлено содержание нескольких ключевых функций, выполняемых системой пожарной безопасности. Учитывая многочисленные функции системы на нефтеперерабатывающем заводе, были выбраны наиболее актуальные процессы, в том числе «Мониторинг состояния узлов и агрегатов», «Обеспечение пожарной безопасности технологического участка» и «Обработка структурированных предварительных данных». Эти функции служба пожарной безопасности выполняет самостоятельно, в зависимости от типа опасности, существующей на нефтеперерабатывающем заводе. Систематизация данных для целей управления может быть достигнута с помощью метода прецедентов, который предполагает описание прошлых событий с использованием стандартизированных параметров.

Функции службы безопасности регулируются нормативными документами на нескольких уровнях, включая законодательные, ведомственные и внутренние нормативные акты, такие как уставы, политики, трудовые договоры, трудовые правила и должностные инструкции.

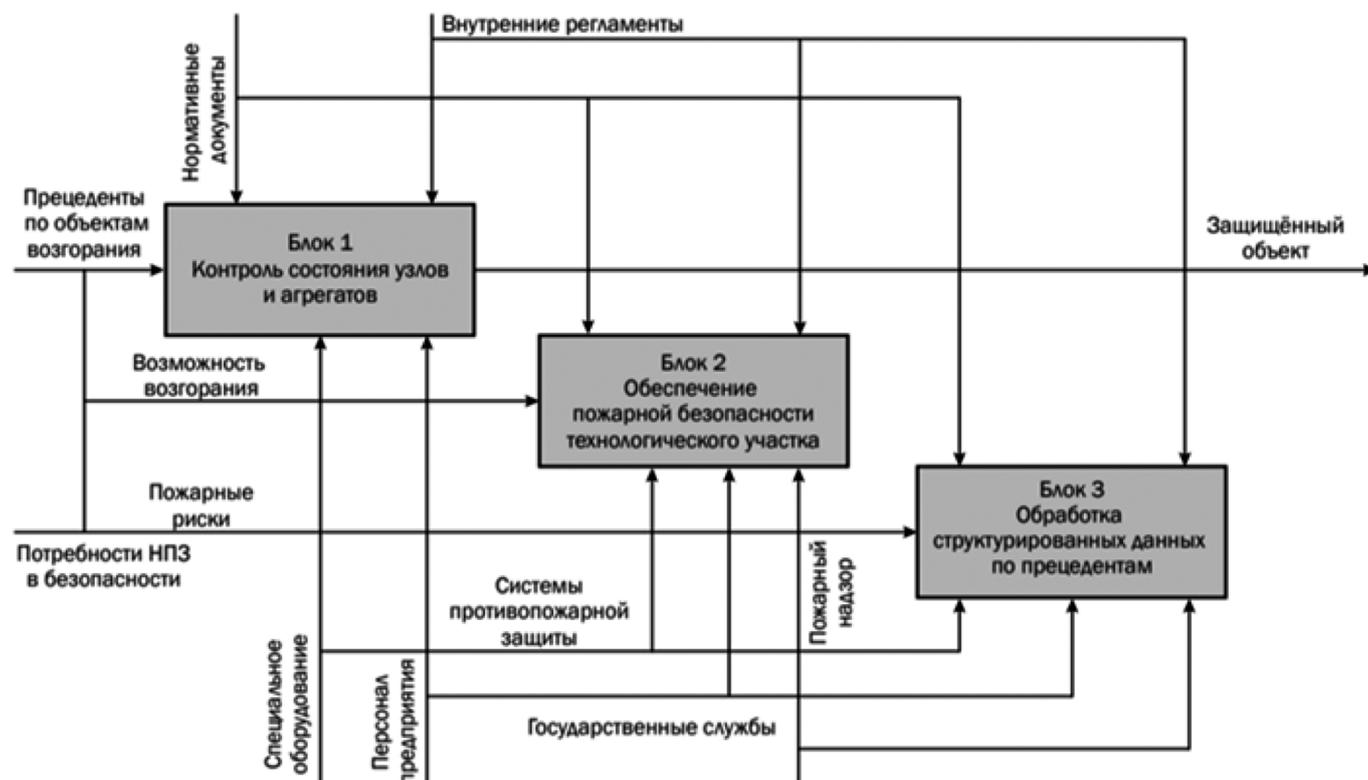


Рис. 2. Функциональная диаграмма организации работы

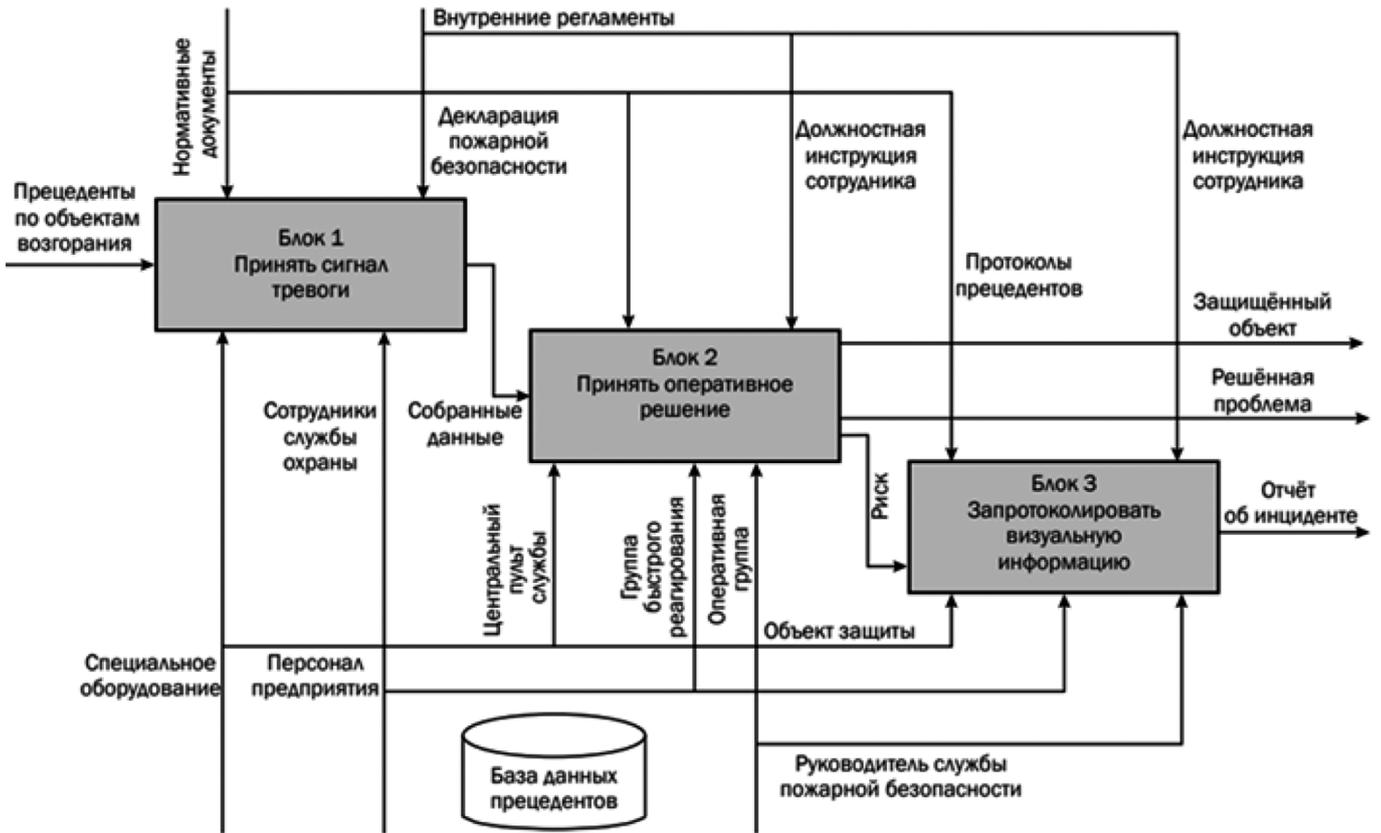


Рис. 3. Декомпозированная диаграмма процесса принятия решений

Государственная противопожарная служба (пожарный надзор) служит механизмом реализации функций, описанных в блоках 2 и 3. Результатом работы всех трех блоков является «Охраняемый объект».

Мы разбиваем функциональный блок 3 «Обработка структурированных данных по вариантам использования» (рис. 3) на четыре процесса: «Получение сигнала тревоги», «Поиск в базе данных precedентов», «Принятие оперативного решения» (на основе анализа прошлого опыта) и «Запись визуальной информации»[6].

Модель организации службы пожарной безопасности IDEFO должна быть интегрирована в информационную систему поддержки принятия решений (DSS) путем доступа к базе данных вариантов использования. Заключительный модуль системы предназначен для автоматической генерации протоколов для регистрации параметров каждого варианта использования [3].

Чтобы автоматизировать регистрацию precedентов в базе данных, необходимо разработать набор критериев для оценки precedентов пожарной безопасности на нефтеперерабатывающих заводах. Однако возникает проблема, связанная с тем, что на практике причинно-следственная связь между своевременным применением технологий антикризисного управления на объектах и попытками справиться с чрезвычайными ситуациями

с использованием технологий управления в обычных режимах работы пока не ясна. Ключевым вопросом, требующим исследования, например, в рамках проектов систем поддержки принятия решений, является своевременное выявление кризисных ситуаций, которые существенно отличаются от обычных и не могут быть разрешены исключительно методами управления персоналом.

Для решения одной из задач информационной модели precedентного метода в рамках системы безопасности нефтеперерабатывающего завода важно гармонично интегрировать технологии антикризисного мониторинга и управления с процедурами управления ресурсами, инфраструктурой, нормативными актами и общим мониторингом объекта.

В статье приведен пример базы данных вариантов использования и представлена структурированная структура данных (таблица 1), организованная в соответствии с едиными параметрами. Эта структура включает конкретные параметры precedента, параметры реагирования и подробную информацию о силах и ресурсах, задействованных в тушении пожара.

Математически структуру фрейма можно представить следующим образом:

Таблица 1.

Пример фрейма из базы данных прецедентов. Пожар в насосной цеха № 6

Номер параметра	Показатели	Значения
1	Вид пожара (ЧС)	Пожар в насосной цеха №6
2	Вид ГЖ (ЛВЖ)	Смесь нефтепродуктов
3	Ширина насосной, м	16
4	Длина насосной, м	42
5	Общая площадь, м <sup>2</sup>	672
6	Время свободного развития пожара, мин	11
7	Путь, пройденный огнём, м	13,2
8	Площадь пожара, м <sup>2</sup>	547,11
9	Количество личного состава, чел.	43
10	Количество пожарных автомобилей	3
11	Количество отделений	11
12	Обстановка на 10-й минуте пожара	Горение в насосной. Прибывает ПЧ-1 в составе отделения на АЦ, отделения на ПНС и отделения на ППК-37,5
13	Рекомендации руководителю тушения пожара на 10-й минуте пожара	1. АЦ-40 с ПЧ-1. 1-й ход установить на ПГ-293, проложить магистральную линию, звеном ГДЗС подать ствол ГПС-600 на тушение с восточной стороны насосной. 2. ПНС-110 установить на ПВ 83-1/12. 3. ППК-37,5 в резерв
14	Обстановка на 16-й минуте пожара	Горение продолжается. Увеличивается температура. Прибывает ПЧ-2 в составе трёх отделений
15	Рекомендации РТП на 16-й минуте пожара	1. АВ-40 с ПЧ-2. Установить на ПВ 83-1/12, 1/12 проложить магистральную линию, звеном ГДЗС подать ствол ГПС-600 на тушение с западной стороны насосной. 2. АЦ-40 с ПЧ-2. Установить на ПГ-35, проложить магистральную линию, подать ствол ГПС-600 на тушение насосной через оконный проём. 3. 2-й ход АЦ-40. Установить на ПГ-4 и проложить магистральную линию, подать два ствола на охлаждение кровли
16	Обстановка на 20-й минуте пожара	Горение продолжается. Прибывают АЦ-40 с СПЧ-1, АЦ-40 с СПЧ-34
17	Рекомендации РТП на 21-й минуте пожара	1. АЦ-40 установить на ПГ-36 и проложить магистральную линию. 2. Звеном ГДЗС ПЧ-2 подать ствол ГПС-600 на тушение насосной западной стороны. 3. АЦ-40 в резерв. Подать один ствол ГПС-600 на тушение насосной через оконный проём
18	Обстановка на 29-й минуте пожара	Горение локализовано. Прибывает АЦ-40 с СПЧ-1
19	Рекомендации РТП на 29-й минуте пожара	АЦ-40 и личный состав в резерв
20	Обстановка на 33-й минуте пожара	Пожар ликвидирован
21	Рекомендации РТП на 33-й минуте пожара	РТП осматривает место пожара, уточняет причину его возникновения, прибывшим подразделениям даёт команду «Отбой»
22	Вывод	Для тушения пожара в насосной необходимо сосредоточить силы и средства по повышенному вызову № 3

<наименование слота>:  $\{(N_i, Z_i)\}, \{C_i\}$ ,

где  $N_i$  — имя параметра,  $Z_i$  — его значение,  $C_i$  — связь с другими слотами.

В качестве примера приводится план тушения пожара в насосном цехе нефтеперерабатывающего завода, где разработана структура, состоящая из 22 параметров, как показано в таблице 1. Для лиц, принимающих решения, предлагается рекомендация по определению ранга пожара, которая помогает установить условный показатель его сложности и оценить необходимые ресурсы для его тушения (параметр 22, см. таблицу 1).

Анализ установок пожаротушения на различных нефтеперерабатывающих заводах привел к разработке базы знаний, состоящей из 10 вариантов использования, структурированных в виде фреймов в представленном формате. Чтобы проиллюстрировать метод поиска вариантов использования, мы рассмотрим конкретный фрейм, используя семь из 22 параметров (см. таблицу 1):

- P1 — Ширина насосной станции;
- P2 — Длина насосной станции;
- P3 — Общая площадь;
- P4 — Время возникновения пожара;
- P5 — Площадь пожара;
- P6 — Количество персонала;
- P7 — Количество пожарных машин.

Классифицируются десять кадров из базы данных вариантов использования, причем каждый кадр характеризуется семью wybranными параметрами, которые имеют числовые значения (таблица 2).

Расстояние между объектами будет определяться расстоянием между кластерами, которое может быть рассчитано с использованием методов «ближайшего соседа» или «дальнего соседа». В решении может использоваться алгоритм иерархического агломеративного метода. Как правило, расстояние между объектами измеряется с использованием формулы евклидова расстояния;

$$P(a, b) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ai} - x_{bi})^2}$$

где  $a$  и  $b$  — точки в  $n$ -мерном пространстве;  $i$  — порядковый номер признака;  $x_{ai}$  и  $x_{bi}$  — координаты точек  $a$  и  $b$  по признаку  $i$ .

Данные объединяются в таблицу, известную как матрица расстояний. Из этой матрицы выбираются наименьшие значения и группируются в кластеры. Используя метод «ближайшего соседа» для кластерного анализа, формируются два кластера ( $P_r$  и  $P_m$ ), расстояние

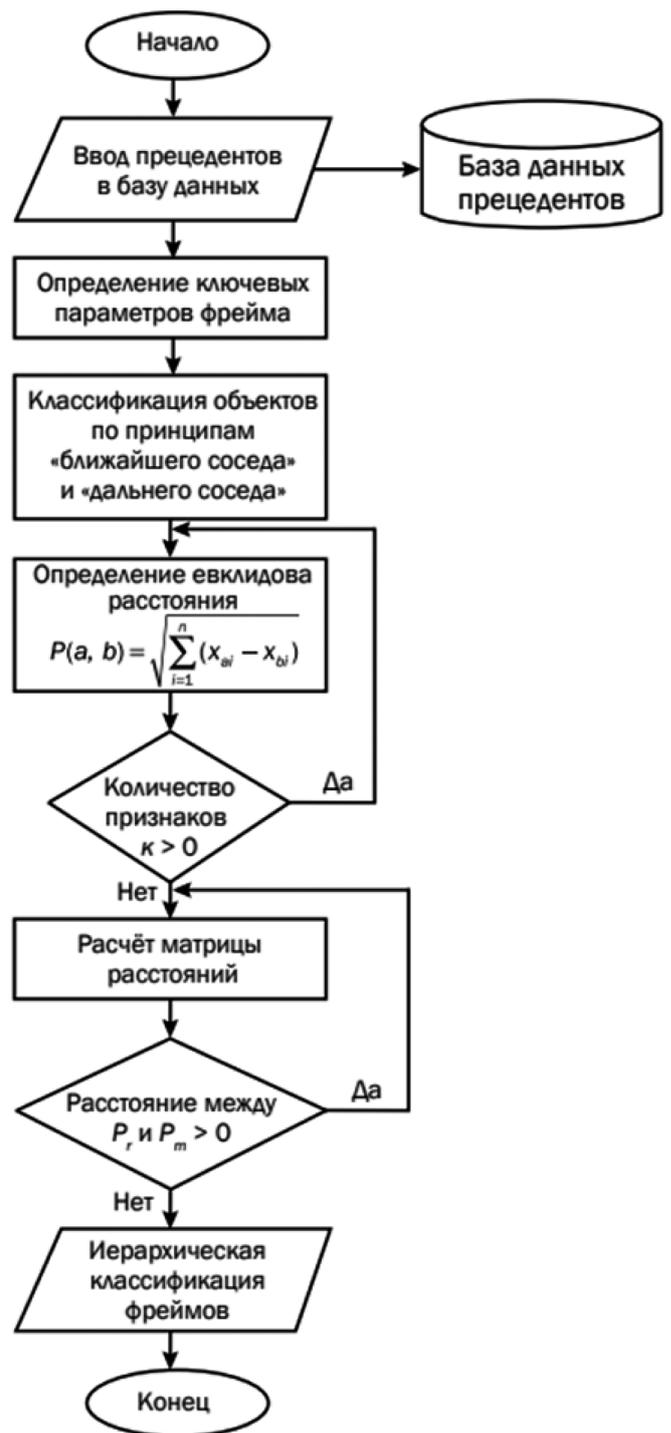


Рис. 4. Алгоритм анализа фреймов из базы данных прецедентов по методу «ближайшего соседа»

между которыми является наименьшим значением. Результатом этого процесса является иерархическая классификация фреймов. Обобщенный алгоритм анализа фреймов из базы данных вариантов использования проиллюстрирован на рисунке 4.

В статье представлены информационные методы анализа данных для реализации метода прецедентов ис-

Таблица 2.

Выборка групп параметров

Показатели фреймов	Фреймы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P1	16	56	14	74	10	20	30	24	48	15
P2	42	92	34	60	10	18	30	34	56	15
P3	672	5152	476	4440	100	360	900	816	2688	255
P4	11	-	11	13	-	16	21	8	19	9
P5	547	1230	476	3582	13	110	740	200	2500	255
P6	43	84	11	76	7	13	54	16	46	23
P7	3	6	3	10	1	2	5	2	7	4

пользования в системе пожарной безопасности нефтеперерабатывающих заводов с учетом фреймовой модели хранения данных в базе знаний.

В примере продемонстрирована реализация предложенной методологии создания базы данных сценариев использования и сравнения кадров из базы данных сценариев пожаротушения на типичной нефтеперерабаты-

вающей насосной станции. Это позволяет перейти от качественного анализа исходных параметров к полной автоматизации количественного анализа. Это достигается путем организации данных в области хранения вариантов использования на основе заранее определенного набора параметров, а компьютерная реализация этого подхода является направлением будущей работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.Г., Михайлова М.Ю. Обзор моделей для интеллектуальных методов поддержки принятия решений, основанных на онтологии организационного управления в программных проектах // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки» — 2024 — №12. С. 59–65.
2. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: Синтег, 1999. 128 с.
3. Тупиков Д.В. Модели и алгоритмы поддержки принятия решений по обеспечению пожарной безопасности на промышленных предприятиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Тупиков Дмитрий Владимирович. Саратов.: Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., 2015. 103 с.
4. Минаев В.А., Топольский Н.Г. Методы и модели управления пожарными рисками на основе теории активных систем // Материалы международной научно-практической конференции «Теория активных систем (ТАС — 2014)». М.: ИПУ РАН, 2014. С. 175–176.
5. Николайчук О.А. Методы, модели и инструментальное средство для исследования надёжности и безопасности сложных технических систем: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.01 / Ольга Анатольевна Николайчук. Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2011. 268 с.
6. РД IDEF 0 — 2000. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. М.: Госстандарт России, 2000. 75 с.
7. Гудин С.В., Мусайбеков А.Г., Хабибулин Р. Ш. Обзор применения метода прецедентов в управлении безопасностью сложных систем // Информационные системы и технологии. 2019. №2 (112). С. 103–112.
8. Larose, Daniel T. (2002) *Discovering knowledge in data: an introduction to data mining* / Daniel T. Larose and Chantal D. Larose. Second edition. 366 с.
9. Мусайбеков А.Г., Хабибулин Р.Ш. Технология ситуационного управления пожарной безопасностью нефтеперерабатывающего предприятия на основе метода прецедентов // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы техносферной безопасности — 2019». М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. С. 69–75.

© Аксенов Сергей Геннадьевич (beregpiya@mail.ru); Мугинова Елена Радиковна (pavel112w@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОМОДАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ МЧС РОССИИ

## MODELS FOR ORGANIZING MULTIMODAL USER INTERACTIONS IN SOFTWARE SYSTEMS OF EMERCOM OF RUSSIA

**A. Bektimirov  
O. Romashkova  
S. Chiskidov**

*Summary.* This research focuses on employing tools for modeling and structuring databases to design an effective framework and organization model supporting multimodal user interactions within the software systems of the Russian Ministry of Emergency Situations (EMERCOM). The conducted work resulted in the creation of functional diagrams and user interaction models, aimed at enhancing operational efficiency and ensuring robust interaction reliability in emergency response scenarios.

*Keywords:* user interaction, multimodal systems, organizational framework, data structure, emergency software systems, EMERCOM.

**Бектимиров Алексей Александрович**  
Аспирант, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет (МГПУ)»  
bektimirovaa283@gmail.com

**Ромашкова Оксана Николаевна**  
Доктор технических наук, профессор, 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, профессор,  
ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты  
МЧС России», г.о. Химки, Московская область  
chis69@mail.ru

*Аннотация.* Данное исследование направлено на использование инструментов моделирования и структурирования баз данных для разработки эффективной структуры и организационной модели, поддерживающей многомодальные взаимодействия пользователей в программных системах МЧС России. В ходе работы были разработаны функциональные диаграммы и модели взаимодействия пользователей, направленные на повышение операционной эффективности и обеспечение надежности взаимодействий в сценариях реагирования на чрезвычайные ситуации.

*Ключевые слова:* взаимодействие с пользователем, многомодальные системы, организационная структура, структура данных, программные системы для чрезвычайных ситуаций, МЧС.

### Введение

Современные задачи обеспечения безопасности и быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации требуют эффективной организации взаимодействия пользователей программных систем. В рамках деятельности МЧС России (Ведомства) важно наладить многомодальное взаимодействие, которое предполагает использование различных каналов и средств коммуникации.

Для повышения качества работы программных решений Ведомства следует реализовать следующие этапы:

1. Разработать модели, отражающие принципы многомодального взаимодействия пользователей [1], с учетом специфики работы спасательных служб.
2. Создать структурированную базу данных, которая обеспечит обработку и хранение информации, необходимой для взаимодействия.

3. Провести анализ автоматизированных процессов, связанных с организацией взаимодействия, с целью оптимизации скорости и точности принятия решений.
4. Разработать функциональные схемы процессов организации многомодального взаимодействия пользователей программных систем Ведомства [2].

### Разработка функциональной схемы процессов многомодального взаимодействия и обработки данных в программных системах Ведомства

Функциональная схема, описывающая процессы системы организации многомодального взаимодействия (COMB), была разработана с применением UML и BPMN-нотаций, а также с использованием программного обеспечения Microsoft Visio и Bizagi Modeler.

На рисунке 1 представлена диаграмма прецедентов, иллюстрирующая ключевые процессы системы.

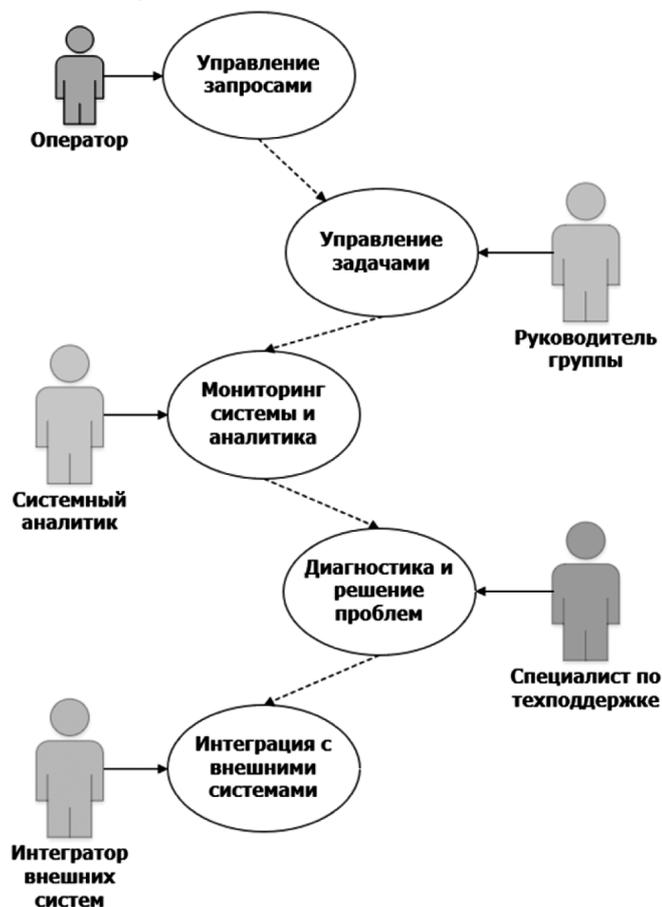


Рис. 1. Диаграмма прецедентов

Основные роли в системе COMB: оператор; руководитель группы; системный аналитик; специалист по техподдержке; интегратор внешних систем.

Основные сценарии взаимодействия: управление запросами; управление задачами; мониторинг системы и аналитика; диагностика и решение проблем; интеграция с внешними системами.

Оператор управляет процессом регистрации и обработки запросов, выполняет эскалацию и общается с пользователями.

Руководитель группы принимает решения по запросам, распределяет задачи среди сотрудников и контролирует их выполнение.

Системный аналитик следит за состоянием системы, собирает и анализирует данные, генерирует отчеты для руководства.

Специалист диагностирует технические проблемы и решает их с использованием мультимедийных каналов связи.

Интегратор настраивает связи между системой и внешними сервисами для обмена данными и синхронизации.

На рисунке 2 представлена диаграмма, отображающая процесс управления запросами.

Описание процесса управления запросами от роли оператора:

1. Оператор получает запрос от пользователя (по телефону, через систему тикетов, по электронной почте и др.) и вводит в систему все необходимые данные запроса: имя пользователя, описание проблемы, контактные данные, а также любую дополнительную информацию, которая может быть полезной для обработки запроса.
2. Оператор сверяет информацию с требованиями системы или внутренними стандартами. Например, проверяет правильность контактных данных, наличие всех необходимых описаний или подтверждений.
3. Если в процессе проверки были выявлены ошибки (например, опечатки в описании проблемы, неверные данные пользователя или несовпадение с внутренними требованиями), оператор исправляет данные.
4. Система в автоматическом режиме обрабатывает запрос, после чего оператор принимает решение об эскалации (если запрос не удастся решить на текущем уровне или требует вмешательства более квалифицированных специалистов).
5. После обработки запроса оператор отправляет пользователю уведомление о статусе его запроса. Это может быть уведомление о решении проблемы, просьба предоставить дополнительные данные или подтверждение, что запрос был эскалирован, и будет обработан позже.

Процесс управления задачами представлен на рисунке 3.

Описание процесса управления задачами от роли руководителя группы:

1. Руководитель группы получает запрос и создаёт задачу в системе, устанавливает параметры и назначает исполнителя.
2. Руководитель группы распределяет задачи между исполнителями в зависимости от сложности и приоритетности.
3. Руководитель следит за прогрессом выполнения задачи, корректирует действия исполнителя, если необходимо.
4. Если задача не выполнена вовремя или возникают проблемы, то она может быть эскалирована на более высокий уровень.
5. Руководитель проверяет выполнение задачи, подтверждает ее завершение.

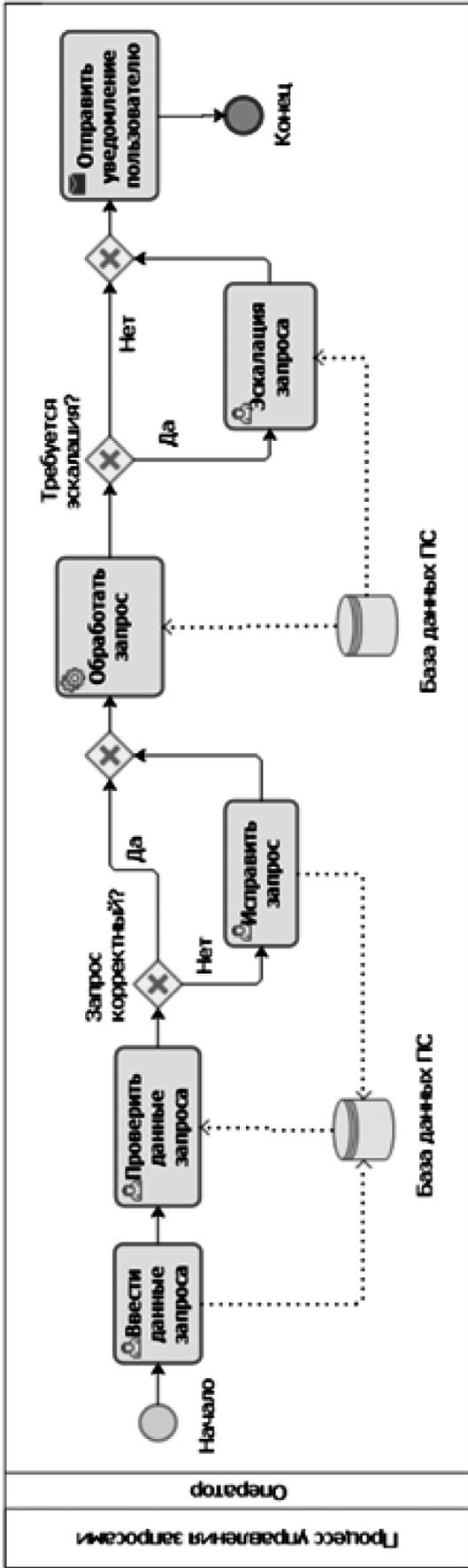


Рис. 2. Процесс управления запросами

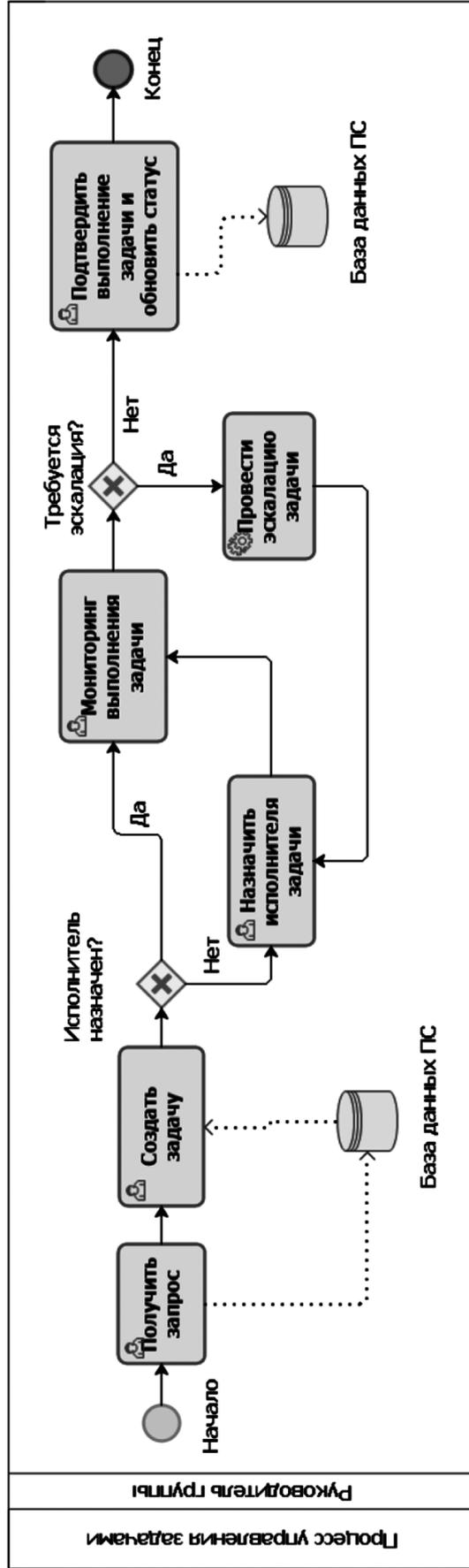


Рис. 3. Процесс управления задачами

Процесс мониторинга системы и аналитики представлена на рисунке 4.

Описание процесса мониторинга системы и аналитики от роли системного аналитика:

1. Системный аналитик инициирует сбор данных о текущем состоянии системы, включая производительность, «логи» ошибок, использование ресурсов и доступность сервисов.
2. Аналитик изучает собранные данные, выявляет отклонения от нормальных показателей, находит коренные причины проблем и проверяет их влияние на систему.
3. Если были выявлены проблемы, то создается подробная документация с описанием выявленных проблем, их причины, рекомендаций по исправлению и рисков. Или готовится отчет для разработчиков, если проблема останется нерешенной.
4. Создается техническая документация с описанием проблемы, предложенным решением и ожидаемым результатом для команды разработчиков.
5. Формируется отчет для руководства с указанием проблемы, предложенного решения, сроков реализации и ожидаемого результата.
6. Если проблем не было выявлено, то аналитик изучает описание проблемы, предоставленное пользователями системы, для ее дальнейшей диагностики.
7. Аналитик вносит изменения в конфигурацию системы, базы данных или настройку сервисов для устранения проблемы.
8. Аналитик документирует произведенные действия, достигнутый результат и выводы по устранению проблемы.
9. Если обращений от пользователей системы не поступало, то аналитик формирует отчет, подтверждающий нормальное состояние системы, с предоставлением ключевых метрик и выводов по стабильности работы.

Процесс диагностики и решение проблем представлена от роли специалиста по техподдержке на рисунке 5.

Описание процесса диагностики и решение проблем от роли специалиста по техподдержке:

1. Специалист по техподдержке получает запрос от пользователя, который может быть отправлен через различные каналы (телефон, электронная почта, чат и др.).
2. Специалист по техподдержке анализирует информацию, полученную в запросе, и решает, достаточно ли данных для диагностики проблемы. В случае недостаточной информации может запросить дополнительные детали у пользователя.
3. На этом этапе специалист проводит диагностику, используя инструменты и доступные ресурсы,

чтобы найти причину проблемы. Это может включать тестирование системы, проверку логов, проведение анализов и др.

4. Специалист по техподдержке оценивает, решена ли проблема на текущем уровне или требуется дальнейшая работа.
5. Если проблема решена, то специалист записывает подробности решения проблемы, чтобы в будущем можно было быстро устранить аналогичные проблемы.
6. Если проблема не решена, то специалист по техподдержке передаёт задачу на более высокий уровень, например, системному аналитику или разработчику. Включает описание проблемы, «логи» и результаты диагностики.
7. После решения проблемы специалист по техподдержке сообщает пользователю, что проблема устранена, и предоставляет отчет о выполненных действиях.

Процесс интеграции с внешними системами представлена от роли интегратора внешних систем на рисунке 6.

Описание процесса интеграции с внешними системами от роли интегратора внешних систем:

1. Получение задания на интеграцию с внешней системой, сбор требований, согласование функционала и определение границ интеграции.
2. Обеспечение готовности инфраструктуры, создание тестовой среды и необходимых учетных данных.
3. Настройка протоколов обмена данными, авторизации, форматов передачи.
4. Запуск тестов для проверки корректности обмена данными и совместимости между системами. Если тестирование прошло успешно, то выполняется переход к реализации. Если тестирование не прошло, то производится возврат к этапу настройки соединения с устранением ошибок.
5. Настройка инструментов для мониторинга работы интеграции в реальном времени (например, логирование, оповещения о сбоях).
6. Перевод интеграции из тестовой среды в рабочую.
7. Подготовка итогового отчета, включающего выполненные этапы, результаты тестов, документацию и рекомендации по дальнейшему использованию интеграции.

#### Проектирование базы данных системы

Проектирование базы данных для системы организации многомодального взаимодействия пользователей программных систем МЧС России было осуществлено с использованием онлайн сервиса draw.io [3].

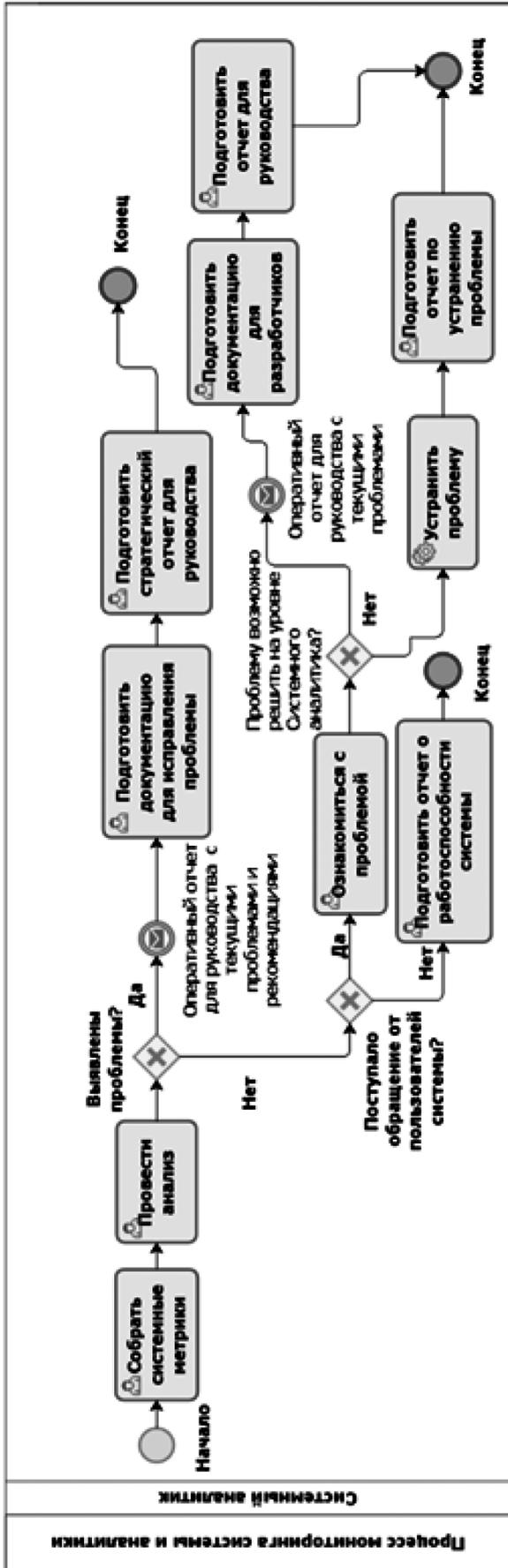


Рис. 4. Процесс мониторинга системы и аналитики

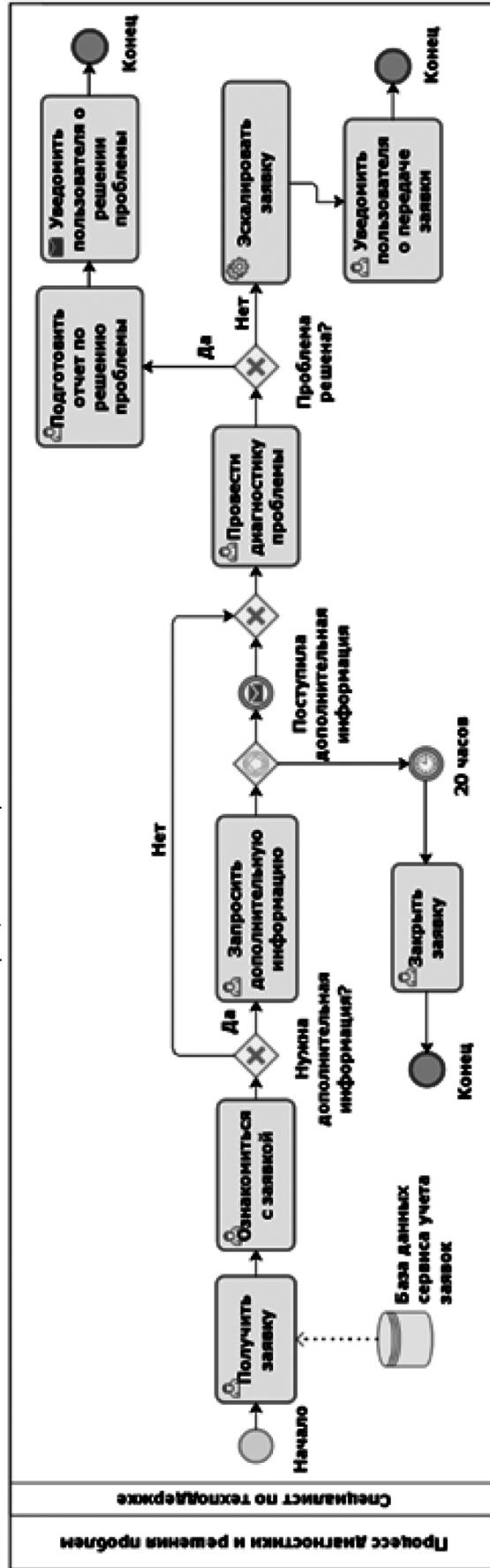


Рис. 5. Процесс диагностики и решение проблем

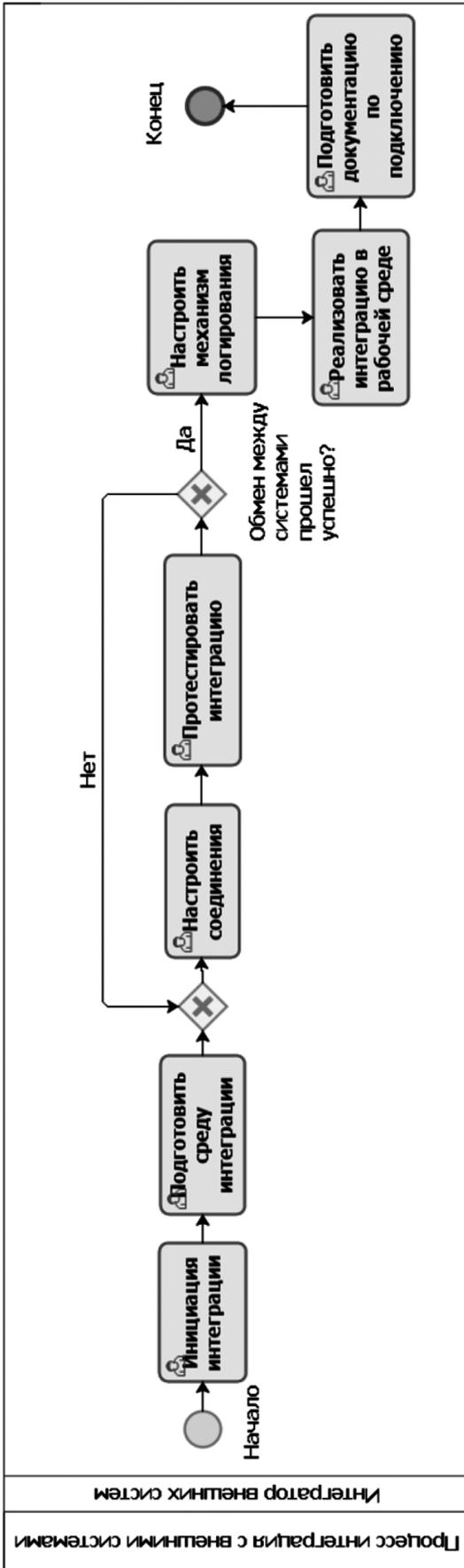


Рис. 6. Процесс интеграции с внешними системами

В таблице 1 представлена информация о сущностях базы данных и их характеристиках.

Таблица 1.

## Сущности и их характеристики

Название сущности	Характеристика сущности
Пользователи	Хранит информацию обо всех участниках системы
Роли пользователей	Хранит роли пользователей
Запросы	Описывает поступающие запросы от пользователей
Задачи	Фиксирует задачи, связанные с запросами
Инциденты	Хранит данные о проблемах в системе
Интеграции	Данные о подключении к внешним системам
Каналы связи	Учет мультимодальных каналов взаимодействия
Заявители	Хранит данные о заявителях
Отчеты	Хранит отчеты

В результате исследования предметной области были определены функциональные зависимости атрибутов сущности и разработана полная атрибутивная модель базы данных [4], которая представлена в классе 3 нормальных форм (3НФ) и изображена на рисунке 7.

#### Анализ автоматизации функций для участников многомодального взаимодействия в программных системах Ведомства

После исследования необходимых функций для различных категорий пользователей в программных системах Ведомства было определено, что для оптимизации работы системы требуется автоматизация ряда ключевых процессов для каждой группы пользователей.

Для операторов необходимо автоматизировать процесс выполнения таких функций, как:

- использование системы управления запросами для быстрого ввода и проверки данных;
- автоматизированное формирование шаблонов сообщений для уведомлений пользователей;
- интеграция с системами распознавания речи и текстов (прием через голосовые или текстовые каналы) [5];
- интеллектуальные подсказки на основе истории запросов для ускорения обработки.

Для руководителей группы необходимо автоматизировать процесс выполнения таких функций, как:

- инструменты управления задачами с функцией визуализации прогресса (канбан-доски, диаграммы Ганта) [6];

- автоматическое назначение задач на основе загрузки сотрудников и их квалификации;
- система отчетов о состоянии задач и эффективности сотрудников.

Для системного аналитика необходимо автоматизировать процесс выполнения таких функций, как:

- формирование панели мониторинга в реальном времени с ключевыми метриками системы;
- интеграция систем машинного обучения для анализа аномалий в логах [7];
- генерация отчетов и рекомендаций на основе анализа данных;
- инструменты управления инцидентами и журналами изменений.

Для специалиста по техподдержке необходимо автоматизировать процесс выполнения таких функций, как:

- инструменты диагностики, включающие автоматический сбор и анализ логов;
- база знаний с инструкциями и историей решений для быстрого устранения типичных проблем [8];
- чат-боты и виртуальные ассистенты для сбора дополнительной информации у пользователей;
- уведомления о статусе решения проблемы через мультимодальные каналы связи.

Для интегратора внешних систем необходимо автоматизировать процесс выполнения таких функций, как:

- платформы API-менеджмента для настройки и тестирования интеграций;
- инструменты автоматического тестирования корректности передачи данных [9];
- системы мониторинга интеграций с функцией оповещения о сбоях [10];
- автоматическое формирование документации по результатам интеграции.

#### Заключение

В результате проведенного анализа были исследованы процессы организации многомодального взаимодействия пользователей программных систем Ведомства, а также разработаны соответствующие функциональные схемы и модели данных, которые обеспечат эффективную работу системы. Было выявлено, что интеграция различных каналов связи, включая текстовую, голосовую и видеосвязь, значительно повышает оперативность и качество обмена информацией среди участников процесса.

На основании полученных результатов будет разработано программное решение, способное автоматизировать процессы взаимодействия в рамках систем Ведомства. Это решение интегрирует все виды мультимедийной связи для эффективного управления действиями пользователей и обеспечения бесперебойной работы в экстренных ситуациях.

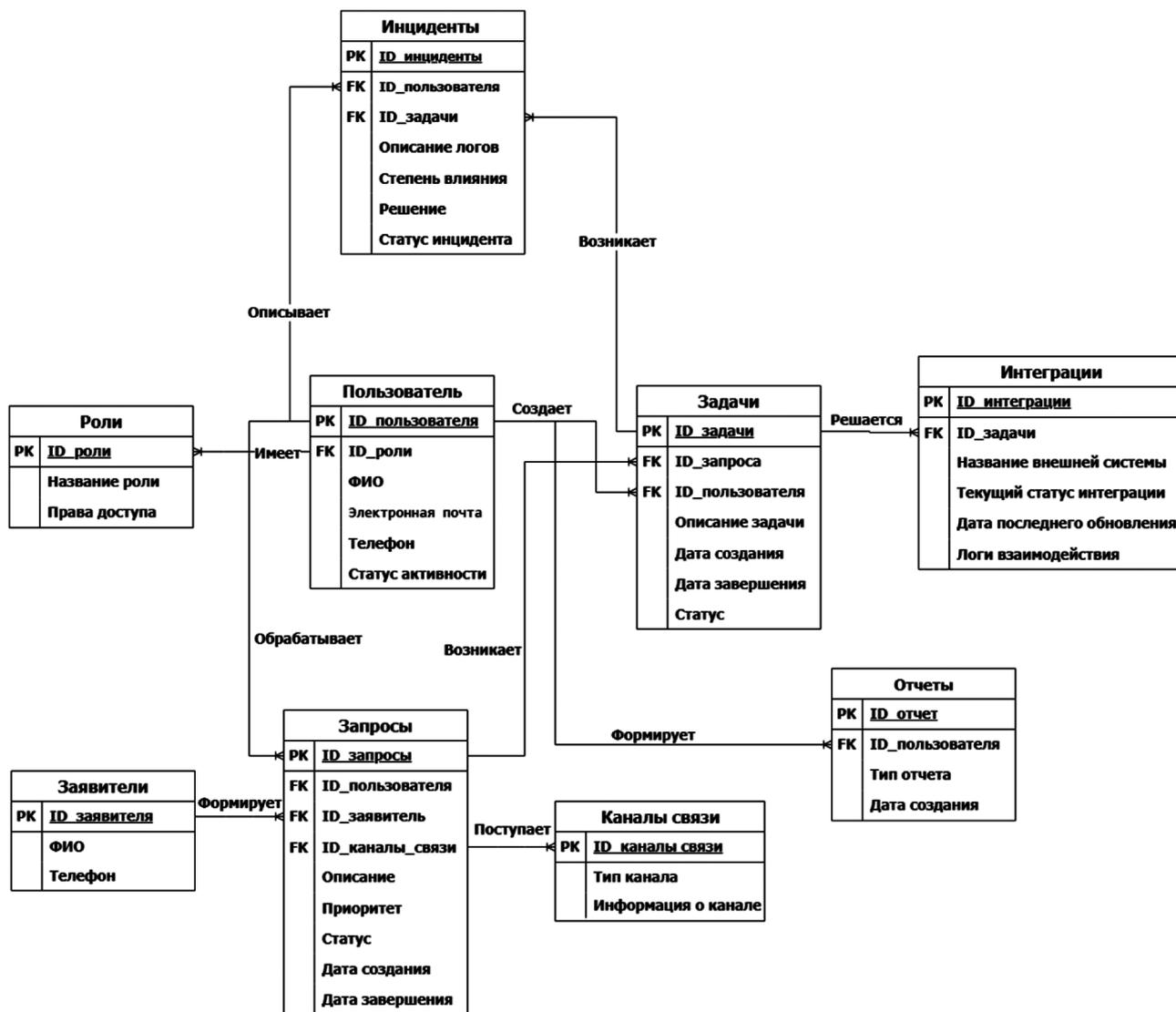


Рис. 7. FA-модель базы данных COMB

ЛИТЕРАТУРА

1. Рындин А.В. Метод приоритетной мультипоточковой передачи многомодальных сообщений // Современная наука и инновации. 2022. № 3. С. 60–68.
2. Юркин М.А. Информационные системы МЧС России // Гражданская защита. 2019. № 3 (523). С. 38–39.
3. Ponomareva L.A., Chiskidov S.V., Romashkova O.N. Instrumental implementation of the educational process model to improve the rating of the universities // В сборнике: CEUR Workshop Proceedings. 9. Сер. «Selected Papers of the Proceedings of the 9th International Conference Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems, ITMM 2019» 2019. С. 92–101.
4. 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.
5. Лукова О.Н. Анализ качества стохастической цифровой передачи речевой информации (методика и ее использование при разработке информационных систем)//автореферат дис. ... кандидата технических наук / Моск. гос. ун-т путей сообщения. Москва, 1994.
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. 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.
8. Каптерев А.И., Ромашкова О.Н., Чискидов С.В. Опыт применения факторного и кластерного анализа в цифровой трансформации образования //Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования. 2022. № 4 (62). С. 29–43.
9. Павличева Е.Н., Ромашкова О.Н. Информационные процессы поддержки принятия решений в многоуровневых образовательных системах /Москва, 2022.
10. 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.

© Бектимиров Алексей Александрович (bektimirovaa283@gmail.com); Ромашкова Оксана Николаевна (ox-rom@yandex.ru); Чискидов Сергей Васильевич (chis69@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВЫБОР МЕТОДОВ РАСЧЕТА ОБЪЕМОВ ПЕРЕВОЗИМЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

## THE CHOICE OF METHODS FOR CALCULATING THE VOLUME OF TRANSPORTED TIMBER USING A VISION SYSTEM

**D. Vegera  
A. Zabavin  
A. Novikova  
I. Parkhomenko  
E. Pokhvashchev**

*Summary.* The article presents the relevance of the problem of measuring the volumes of round timber transported by timber trucks, and considers a solution for automating the measurement process. Such mathematical methods for determining volumes based on determining the depth of points as triangulation, trifocal tensor and the Levenberg–Marquardt method were considered. On their basis, a software tool was developed and test calculations were carried out with an ideal load.

*Keywords:* triangulation, key point mapping, epipolar geometry, trifocal tensor, Levenberg–Marquardt method.

**Вегера Денис Владимирович**

старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», г. Хабаровск  
vegera79@mail.ru

**Забавин Алексей Сергеевич**

Преподаватель, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», г. Хабаровск  
007913@pnu.edu.ru

**Новикова Агата Алексеевна**

Аспирант, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», г. Хабаровск,  
agata2703@bk.ru

**Пархоменко Игорь Сергеевич**

Аспирант, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», г. Хабаровск,  
011608@pnu.edu.ru

**Похващев Егор Олегович**

Ассистент, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», г. Хабаровск  
79142102475@ya.ru

*Аннотация.* В статье представлена актуальность проблемы измерения объемов круглых лесоматериалов, перевозимых на лесовозах, и рассмотрено решение для автоматизации процесса измерения. Были рассмотрены такие математические методы определения объемов на основе определения глубины точек как триангуляция, трифокальный тензор и метод Левенберга–Марквардта. На их основе было разработано программное средство и проведены тестовые расчеты с идеальной нагрузкой.

*Ключевые слова:* триангуляция, сопоставление ключевых точек, эпиполярная геометрия, трифокальный тензор, метод Левенберга–Марквардта.

### Введение

**П**роблема измерения объемов круглого леса, перевозимого на лесовозах, добавляет большие временные и логистические издержки для предприятий, занимающихся лесозаготовкой и лесопереработкой. Решение этой проблемы с помощью средств автоматизации определения количества вывозимого круглого леса позволяет снизить издержки и ускорить рабочие процессы, убрав неконтролируемые и субъективные факторы из процесса измерений.

На Дальнем Востоке богатый лесной массив вдоль ключевого участка от с. Лидогадор.п. Ванино трассы А-376 «Хабаровск–Лидога–Ванино–Комсомольск-на-Амуре» (далее — трасса) представляет интерес для коммерче-

ской деятельности по заготовке деловой древесины. В связи с этим, органы государственного лесного надзора и предприятия-лесозаготовители заинтересованы в разработке программно-аппаратного комплекса, устанавливаемого на пропускных пунктах трассы и позволяющего в автоматизированном режиме производить оценку объема в разрезе штабелей, находящийся на лесовозах, с учетом множества факторов.

На данный момент существует два основных способа замера объема груза, основанные на взвешивании грузовика и сканировании его кузова с помощью двух лидаров (продольного и поперечного). Как в одном, так и в другом случае измерения нужно производить два раза — на полном и пустом грузовике, чтобы сравнить изменение объема.

В данной статье будут рассмотрены математические методы определения объемов на основе определения глубины точек.

### Триангуляция

Представление точки в трехмерном пространстве на двумерной плоскости изображено на рисунке 1.

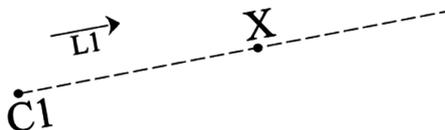


Рис. 1. Определение местоположения трехмерной точки

На рисунке 1 точки  $C1$  и  $X$  находятся в трехмерном пространстве, а единичный вектор  $L1$  показывает направление луча, идущего от точки  $C1$  к точке  $X$ . Однако в данной модели невозможно решить уравнения, которые позволили бы нам определить глубину точки  $X$ . Поэтому модель нужно усовершенствовать [1].

Добавим ещё одну точку пространства —  $C2$ . Луч зрения, проведённый из этой точки, также проходит через точку  $X$ .

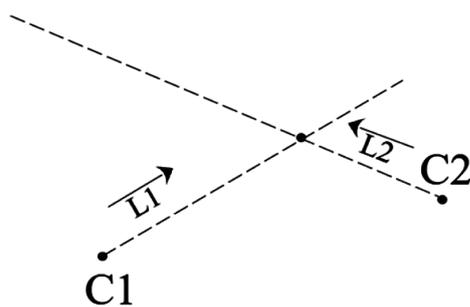


Рис. 2. Триангуляция

Адаптируем модель на использование двух камер и проекции объекта из 3D пространства на них.

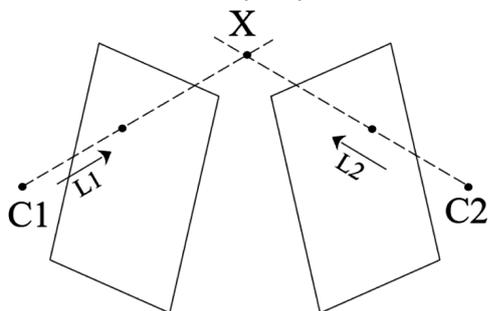


Рис. 3. Расширение концепции триангуляции

В представленной схеме (рисунок 3) отображены пространственные координаты  $C1$  и  $C2$ , соответствующие положению левой и правой камер соответственно. Проекция трёхмерной точки  $X$  на плоскость изображения левой камеры обозначена как  $x1$ , тогда как проекция этой же точки на правую камеру обозначается как

$x2$ . Эти две проекции,  $x1$  и  $x2$ , классифицируются как соответствующие друг другу, поскольку они представляют собой результат преобразования одной и той же трёхмерной точки  $X$ .

На основе данных о положении  $x1$  относительно  $C1$  можно определить направление луча  $L1$ ; аналогичным образом, зная положение  $x2$  относительно  $C2$ , можно установить направление луча  $L2$ . Следовательно, используя метод триангуляции, можно точно определить координаты трёхмерной точки  $X$  в пространстве, как показано на схеме рисунка 2.

Из этого примера видно, что для проведения триангуляции трёхмерной точки на основе двух изображений, сделанных под разными углами, требуется следующее: расположение камер в реальной системе координат ( $C1$  и  $C2$ ), а также соответствие точек ( $x1$  и  $x2$ ) для каждой трёхмерной точки ( $X$ ) в сцене, которая подлежит расчету [2, 3].

Главная трудность в оценке глубины на двумерных изображениях состоит в обнаружении и сравнении ключевых точек объекта ( $x1$  и  $x2$ ). Для решения данной задачи используется алгоритм ORB. Качество восстановления сцены напрямую связано с количеством совпавших точек: чем их меньше, тем менее точной будет полученная модель. Один из простых методов поиска соответствий основан на нахождении пикселей со схожими окружающими структурами. Тем не менее, наличие идентичных элементов или повторяющихся объектов на сцене может значительно усложнить эту задачу.

Для снижения числа ложных совпадений или ускорения поиска подходящих точек применяется эпиполярная геометрия — фундаментальный принцип стереоскопического зрения. Когда две камеры наблюдают трёхмерную сцену с различных ракурсов, существуют определенные геометрические взаимосвязи между 3D-точками и их проекциями на двумерные изображения, накладывающие ограничения на точки изображений. Эти соотношения основаны на допущении, что поведение камер можно моделировать как камеру-обскуру.

На рисунке 4 предполагается установка, схожая с той, что представлена на рисунке 3. Точка  $X$  в трёхмерном пространстве фиксируется камерами  $C1$  и  $C2$  в виде двумерных проекций  $x1$  и  $x2$  соответственно. Так как  $x1$  является проекцией точки  $X$ , можно предположить, что если продлить луч  $R1$  от камеры  $C1$  через точку  $x1$ , он пройдет через саму точку  $X$ . Этот луч фиксируется как прямая  $L2'$ , а точка  $X$  отображается на изображении  $i2$  как  $x2$ . Поскольку точка  $X$  находится на луче  $R1$ , то и её проекция  $x2$  должна находиться на прямой  $L2'$ . Следовательно, возможные положения  $x2$  ограничены

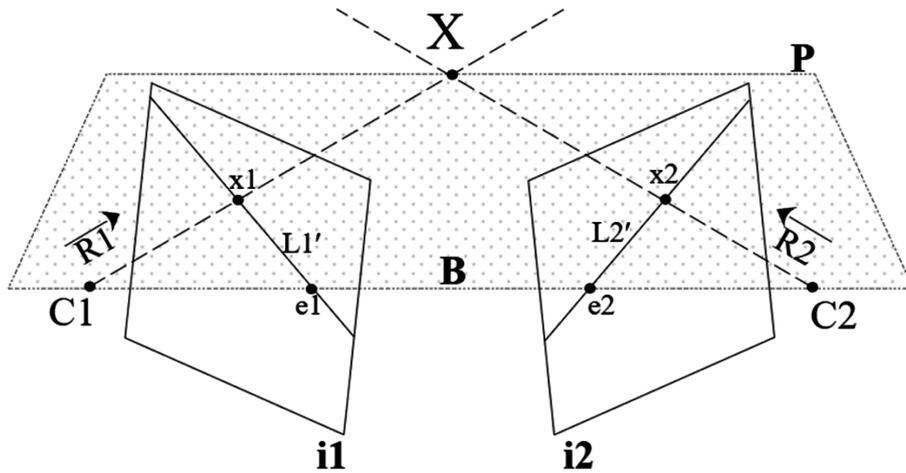


Рис. 4. Модель, описываемая эпполярной геометрией

этой линией, и таким образом, область поиска пикселей на изображении  $i_2$ , соответствующих пикселям  $x_1$ , сужается до единственной линии  $L_2'$ . Для нахождения  $L_2'$  используется эпполярная геометрия, что существенно уменьшает пространство поиска соответствий, описанное ранее [4].

Отметим, что:

- *эпполь* ( $e_1$  и  $e_2$ ) — изображение центра камеры одного ракурса в другом ракурсе
- *базовая линия* — линия, соединяющая центры двух камер ( $e_1$  и  $e_2$ ), то есть эпполь также можно определить как пересечение базовой линии с плоскостью изображения.
- *эпполярная плоскость* — плоскость  $P$ , которая содержит  $X$ ,  $C_1$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  и  $C_2$ , определенная  $R_1$  и базовой линией.
- *эпполярная линия* — линия ( $L_2$ ), полученная от пересечения эпполярной плоскости ( $P$ ) и плоскости изображения.
- *эпполярное ограничение* — ограничение на поиск соответствующего пикселя сходя из эпполярной геометрии. Пространство поиска для пикселя в изображении ( $i_2$ ), соответствующего пикселю ( $x_1$ ), ограничено одной двумерной линией, которая является эпполярной линией ( $L_2$ ) этого изображения.

Для разных значений  $X$  у нас будут разные эпполярные плоскости и, следовательно, разные эпполярные линии. Однако все эпполярные плоскости пересекаются на базовой линии, и все эпполярные линии пересекаются в эпполе. Все эти зависимости в совокупности и называются Эпполярной геометрией.

Эпполярные зависимости можно представить матрицей и для ее расчета достаточно двух изображений эпполярной системы. Такая матрица называется «фундаментальной».

### Вычисление фундаментальной матрицы

На рисунке 3 предположим, что мы знаем матрицы проекции камеры для обеих камер, скажем,  $P_1$  для камеры в  $C_1$  и  $P_2$  для камеры в  $C_2$ .

Матрица проекции камеры определяет соотношение между координатами трехмерного мира и соответствующими пиксельными координатами при захвате камерой.

Точно так же, как  $P_1$  проецирует трехмерные мировые координаты в координаты изображения, мы определяем  $P_1^{-1}$ , псевдообратный к  $P_1$ , так что мы можем определить луч  $R_1$  из  $C_1$ , проходящий через  $x_1$  и  $X$  как:

$$X(k) = P_1^{-1} \times x_1 + kC_1$$

$k$  — параметр масштабирования, так как мы не знаем фактического расстояния  $X$  от  $C_1$ . Нам нужно найти эпполярную линию  $L_{n2}$ , чтобы уменьшить пространство поиска для пикселя в  $i_2$ , соответствующего пикселю  $x_1$  в  $i_1$ , поскольку мы знаем, что  $L_{n2}$  — это изображение луча  $R_1$ , захваченное в  $i_2$ . Следовательно, чтобы вычислить  $L_{n2}$ , мы сначала находим две точки на луче  $R_1$ , спроецируем их на изображение  $i_2$  с помощью  $P_2$  и используем проецируемые изображения двух точек, чтобы найти  $L_{n2}$ .

Первая точка, которую мы можем рассмотреть на  $R_1$ , — это  $C_1$ , так как луч начинается с этой точки. Вторую точку можно рассчитать, оставив  $k=0$ . Следовательно, мы получаем точки как  $C_1$  и  $(P_1^{-1})(x_1)$ . Используя матрицу проекции  $P_2$ , мы получаем координаты этих точек на изображении  $i_2$  как  $P_2 * P_1^{-1} * x_1$  соответственно. Мы также заметили, что  $P_2 * C_1$  — это в основном эпполь  $e_2$  на изображении  $i_2$ .

Прямая может быть определена в проективной геометрии с использованием двух точек  $p_1$  и  $p_2$ , просто найдя их векторное произведение  $p_1 \times p_2$ . Следовательно

$$Ln2 = P2 * C1 * P2 * P1inv * x1$$

$$e2 = P2 * C1$$

при

$$Ln2 = e2 \times P2 * P1inv * x1$$

Для фундаментальной матрицы

$$F = e2 \times P2 * P1inv$$

получим

$$Ln2 = F * x1$$

В проективной геометрии, если точка  $x$  лежит на прямой  $L$ , мы можем записать ее в виде уравнения

$$xT \times L = 0$$

Следовательно, поскольку  $x2$  лежит на эпполярной прямой  $Ln2$ , получаем

$$x2T \times Ln2 = 0$$

Заменяя значение  $Ln2$  из приведенного выше уравнения, мы получаем уравнение:

$$x2T \times F \times x1 = 0$$

Это необходимое условие для того, чтобы две точки  $x1$  и  $x2$  были соответствующими точками, и это также форма эпполярного ограничения. Таким образом,  $F$  представляет собой общую эпполярную геометрию системы с двумя точками зрения [5, 6].

### Трифокальный тензор

Трифокальный тензор  $T$  — это тензор валентности 3  $T_{jk}^i$ , с двумя контравариантными и одним ковариантным индексом. Он представляется однородным массивом  $3 \times 3 \times 3$  (то есть 27 элементов) и имеет 18 степеней свободы.

Трифокальный тензор имеет аналогичную роль для вычисления глубины точки при захвате (проецировании) в трех разных видах (изображениях), что и фундаментальная матрица для двух видов. Он инкапсулирует все (проективные) геометрические отношения между тремя видами, которые не зависят от структуры сцены [7].

Тензор может использоваться для переноса точек или линий из соответствия двух видов в третий.

Трифокальный тензор имеет три принципиальных геометрических свойства:

- это гомографии между двумя видами, вызванные плоскостью, проецируемой обратно из линии в другом виде;
- отношения между соответствиями изображений для точек и линий, возникающих из инцидентов в 3-пространстве;
- извлечение фундаментальной и матриц камеры из этого тензора.

### Тензорная система счисления

Точки и линии изображения представлены однородными столбцовыми и строчными 3-векторами соответственно, то есть  $x = (x_1, x_2, x_3)^T$  и  $l = (l_1, l_2, l_3)$ . Элемент матрицы  $A$  с индексами  $ij$  обозначается как  $a_{ij}$ , где  $i$  — контравариантный индекс (индекс строки), а  $j$  — ковариантным (индекс столбца).

Определение трифокального тензора, используя тензорную нотацию

$$T_{jk}^i = a_j^i b_k^4 - a_k^4 b_j^i$$

Положение индексов в  $T_{jk}^i$  (два контраварианта и один ковариант) диктуются положением индексов справа от уравнения. Таким образом, трифокальный тензор является смешанным контравариантом-ковариантным тензором. В тензорной записи основное соотношение инцидентности принимает вид

$$l_i = l^j l^k T_{jk}^i$$

### Краткое изложение трехфокусных тензорных отношений инцидентности — трехлинейностей

1. Соответствие линия — линия — линия

$$(l_r \epsilon^{ris}) l'_j l''_k T_i^{jk} = 0^s$$

2. Соответствие точка — линия — линия

$$x^i l'_j l''_k T_i^{jk} = 0$$

3. Соответствие точка — линия — точка

$$x^i l'_j (x''^k \epsilon_{kqs}) T_i^{jq} = 0_s$$

4. Соответствие точка — точка — линия

$$x^i (x'^j \epsilon_{jpr}) l''_k T_i^{pk} = 0_r$$

5. Соответствие точка — точка — точка

$$x^i (x'^j \epsilon_{jpr}) (x''^k \epsilon_{kqs}) T_i^{pq} = 0_{rs}$$

Где  $x^i, x'^j$  и  $x''^k$  — точки,  $l_r, l'_j, l''_k$  — линии,  $\epsilon^{ris}$  — тензор,  $T$  — трифокальный тензор,  $\epsilon_{jpr}, \epsilon_{kqs}$  — контравариантный тензор [8, 9].

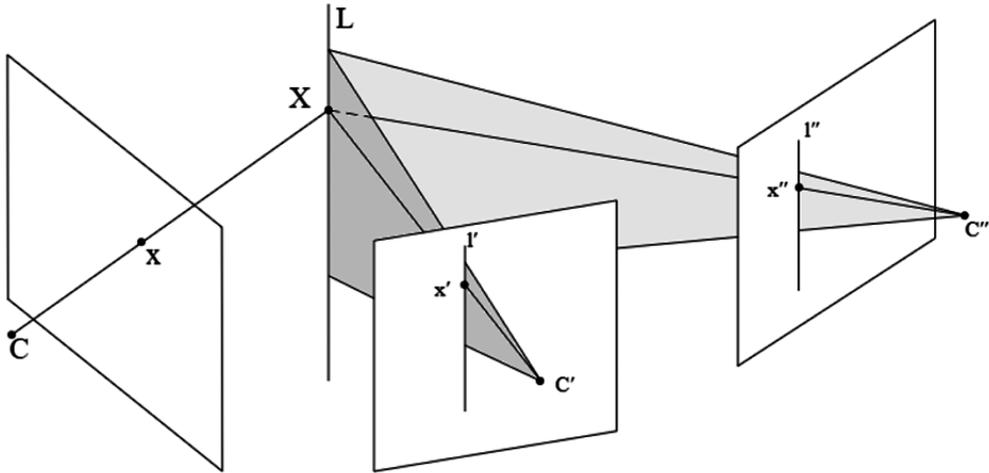


Рис. 5. Пример отношения инцидентности точка — линия — линия

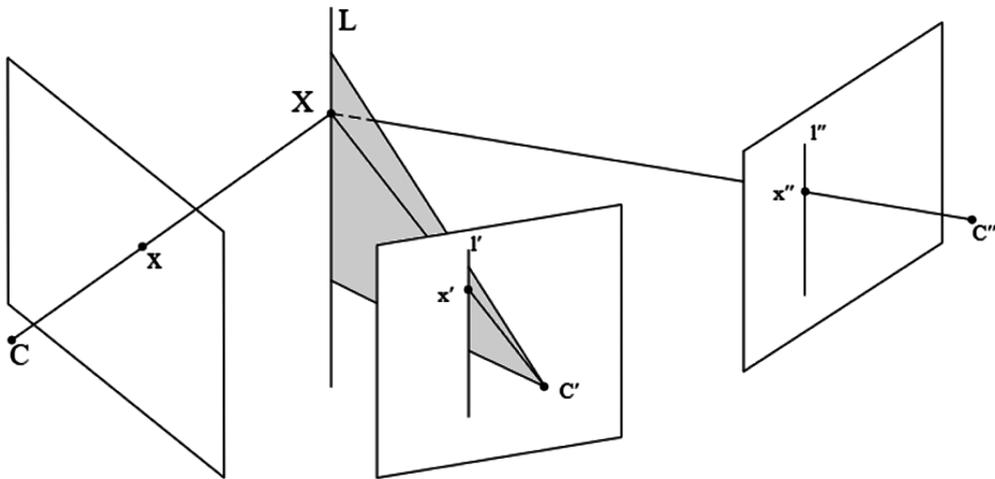


Рис. 6. Пример отношения инцидентности точка — линия — точка

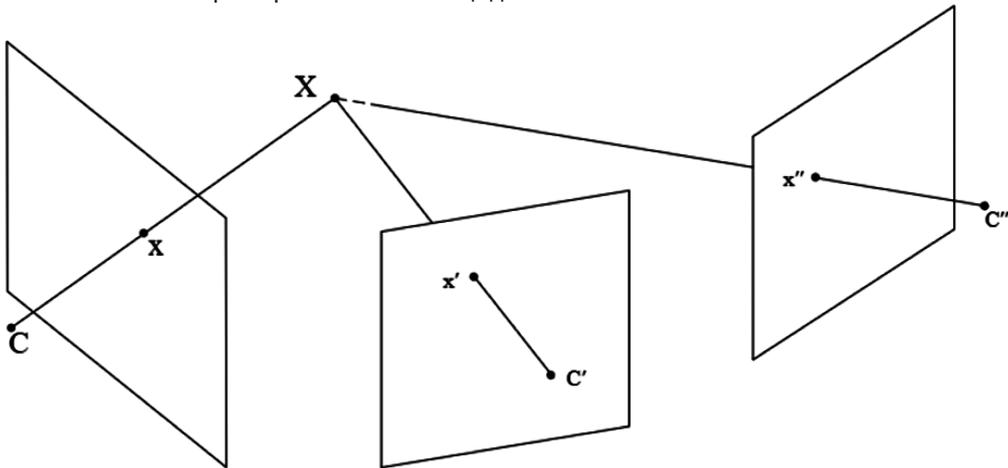


Рис. 7. Пример отношения инцидентности точка — точка — точка

**Метод Левенберга–Марквардта**

Матрица  $H_k = f''(x^k)$  может не быть положительно определенной, даже при  $x^k$  сколь угодно близком к множеству решений. Поэтому глобализованный алгоритм должен включать в себя механизм выбора подходящего  $H_k$ , причем допускающий базовый выбор вблизи решений.

*Алгоритм*

Выбираем параметры  $\rho_1, \rho_2 > 0, \tau_1 > 0, \tau_2 > 1, \sigma' > 0, q > 0, \varepsilon, \theta \in (0, 1)$ . Выбираем  $x^0 \in \mathbb{R}^n$  и полагаем  $k = 0$ .

1. Если  $f'(x^k) = 0$ , стоп.

2. Полагаем  $H_k = f''(x^k)$ .

Если

$$\|H_k f'(x^k)\| \geq \rho_1 \|f'(x^k)\|^{q_1},$$

вычисляем  $p^k$  как решение уравнения при  $\sigma_k = \min\{\sigma, \|f'(x^k)\|^{q_1}\}$ . Иначе переходим к шагу 4.

3. Если

$$\{f'(x^k), p^k\} \leq -\rho_2 \|p^k\|^{q_2},$$

переходим к шагу 5.

4. Вычисляем симметричную  $n \times n$  матрицу  $H_k$  и соответствующее решение  $p^k$  задачи, удовлетворяющие шагу 1 и 2.

5. Вычисляем  $\alpha_k = \theta^j$ , где  $j$  — наименьшее неотрицательное целое число, при котором выполняется неравенство Армико

$$f(x^k + \theta^j p^k) \leq f(x^k) + \varepsilon \theta^j \{f'(x^k), p^k\}.$$

6. Полагаем  $x^{k+1} = x^k + \alpha^k p^k$ , увеличиваем  $k$  на 1, и переходим к шагу 1.

Ключевой вопрос состоит в том как реализовать шаг 4. Очевидно, что шаг 6 может выполняться для любого  $\rho_1 > 0$ , если  $H_k$  достаточно положительно определена, а именно, ее минимальное собственное значение не меньше  $\rho_1$ . Более того, из шагов 4 и 5 следует, что шаг 2 также достигается достаточной положительной определенностью  $H_k$ . Последнего же можно добиться посредством модифицированного разложения Холецкого, или посредством модифицированного симметричного законечноопределенного разложения матрицы Гессе  $f''(x^k)$ . При этом на каждой итерации алгоритма потребуются решить не более двух систем линейных уравнений, как и в случае, когда для второй системы берется просто  $H_k = \rho I$  с достаточно большим  $\rho > 0$ .

Альтернативным образом можно выбирать  $H_k$  последовательно, заменяя  $H_k$  на  $H_k + \omega I$  с некоторым  $\omega > 0$ , до тех пор, пока шаги 1 и 2 не окажутся выполнены. Разумеется, при таком подходе итерация алгоритма может потребовать решения более двух систем линейных урав-

нений, но получаемое в результате направление может быть лучше, так как выбранная в итоге матрица  $H_k$  может быть ближе к истинной матрице Гессе функции  $f$  [10].

### Применение описанных методов к решению исходной задачи

По итогу изучения данных методов была разработана программа на языке Python с использованием библиотек OpenCV и NumPy. Были проведены тестовые расчеты с идеальной нагрузкой на 2 лесовозах: в 21,3 т., и в 33т. Было проведено по 25 тестов для каждого метода с каждым лесовозом.

В таблице представлены средние значения тоннажа и минимальные и максимальные значения тоннажа по методам.

Средние значения тоннажа

Идеальная нагрузка		Метод Левенберга–Марквардта	Метод эпиполярной геометрии	Метод трифокального тензора
21,30	Среднее значение	20,22	20,96	21,12
	Минимальное значение	19,08	20,41	20,85
	Максимальное значение	21,5	21,48	21,38
33,00	Среднее значение	31,55	32,57	32,71
	Минимальное значение	30	31,53	32,19
	Максимальное значение	33,32	33,27	33,2

### Заключение

Результаты расчетов показывают, что использование метода, основанного на трифокальном тензоре, дают наиболее достоверные результаты. Для получения более точных результатов необходимо увеличить сложность алгоритма и использовать более энергозатратные вычислительные средства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Barrett E.B., Brill M.H., Haag N.N., Payton P.M. Invariant linear methods in photogrammetry and model-matching. In: Mundy J.L., Zisserman A. (Eds.). *Geometric invariance in computer vision*. Cambridge: MIT Press, 1992.
2. Гульванский В. В., Миненко М. В. Программно-аппаратный комплекс для измерения объема сыпучих материалов // Интеллектуальный пункт пропуска в России и мире: компетентностный подход к созданию : Сборник докладов Всероссийской практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 февраля 2022 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2022. С. 37–38. EDN RWZCCW.
3. Hartley R.I., Sturm P. Triangulation // *Computer Vision and Image Understanding*. 1997. Vol. 68, No. 2. P. 146–157.
4. Тушев С.А., Суховилов Б.М. Алгоритм полиномиальной сложности для поиска соответствующих точек на основе эллиптической геометрии // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2018. Т. 7, № 4. С. 83–104. DOI: 10.14529/cmse180406.
5. Рощупкина С.Н., Асташенкова Л.К., Булгакова В.С., Кудринская К.В. Построение карты диспаратности по неоткалиброванной паре изображений // Молодой ученый. 2019. № 26 (264). С. 43–46. URL: <https://moluch.ru/archive/264/61141/> (дата обращения: 05.12.2024).
6. Faugeras O.D. *Three-Dimensional Computer Vision: a Geometric Viewpoint*. Cambridge: MIT Press, 1993.
7. Yang Y., Jia W., Bucher T., Zhang H., Sun M. Image-Based food portion size estimation using a smartphone without a fiducial marker // *Public Health Nutrition*. 2019. Vol. 22, No. 7. P. 1180–1191. DOI: 10.1017/S136898001800054X.
8. Hartley R., Zisserman A. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2000, 2003.
9. Rother C., Carlsson S. Linear multi view reconstruction and camera recovery. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Vision, Vancouver, Canada, 2001*. P. 1–42–49.
10. Измаилов А.Ф., Куренной А.С., Стецюк П.И. Метод Левенберга–Марквардта для задач безусловной оптимизации // Вестник российских университетов. Математика. 2019. Т. 24. С. 125:60–74.

© Вегера Денис Владимирович (vegera79@mail.ru); Забавин Алексей Сергеевич (007913@pnu.edu.ru);

Новикова Агата Алексеевна (agata2703@bk.ru); Пархоменко Игорь Сергеевич (011608@pnu.edu.ru); Похвощев Егор Олегович (79142102475@ya.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# САМОДИАГНОСТИКА СОСТАВНЫХ АГРЕГАТОВ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ

## SELF-DIAGNOSIS OF THE COMPONENTS OF THE CONTROL UNIT OF A HEAVY- DUTY VEHICLE

**A. Verkner**  
**K. Gorlova**  
**D. Akimov**  
**E. Guryanova**  
**A. Mayak**

*Summary.* The paper considers the issues of automatic classification of vibration states of cars based on the use of convolutional neural network processing of vibration measurement data presented in spectral form and processed by a modified t-distribution method, and the knowledge of experts with experience in interpreting spectrograms characterizing the vibration states of composite aggregates of heavy-duty vehicles.

The developed spectrogram analysis model allows monitoring the condition of heavy-duty vehicles of various models in automatic mode and timely notifying the driver of signs of pre-emergency situations, as well as the type of possible malfunctions.

The data samples used in training the neural network classifier during experimental studies were formed on the basis of available archive files containing complete aperture data from car vibration sensors and information about the malfunctions detected in them.

*Keywords:* big data, vibration diagnostics, heavy-duty vehicles, transmission, internal combustion engine, intelligent system, software, deep machine learning, neural network, recurrent network, fault classification, t-distribution.

**Веркнер Алексей Сергеевич**  
аспирант, ассистент, МИРЭА — Российский  
технологический университет  
aleksverk@mail.ru

**Горлова Ксения Олеговна**  
аспирант, ассистент, МИРЭА — Российский  
технологический университет  
ko.gorlova@yandex.ru

**Акимов Дмитрий Александрович**  
К.т.н. доцент, МИРЭА — Российский  
технологический университет  
akim-dmitrij@yandex.ru

**Гурьянова Екатерина Олеговна**  
Старший преподаватель, МИРЭА — Российский  
технологический университет  
guryanova-e.o@yandex.ru

**Маяк Александр Александрович**  
Аспирант, МИРЭА — Российский  
технологический университет  
alexmaiak@yandex.ru

*Аннотация.* В работе рассматриваются вопросы автоматической классификации вибросостояний автономных транспортных средств (далее по тексту: АТС) на основе использования свёрточной нейросетевой (CNN) обработки данных виброизмерений, представленных в спектральном виде и обработанных модифицированным методом главных компонент, и знаний экспертов, имеющих опыт интерпретации спектрограмм, характеризующих вибросостояния составных узлов и агрегатов АТС. Разработанная модель анализа спектрограмм позволяет осуществлять мониторинг состояния АТС в автоматическом режиме и своевременно оповещать о появлении признаков предаварийных ситуаций, а также о виде возможных неисправностей.

*Ключевые слова:* вибродиагностика, автономное транспортное средство, интеллектуальная система диагностики, CNN (convolutional neural network — свёрточные нейронные сети), DNN (deep neural network — глубокие нейронные сети).

### Введение

**В** настоящее время существует три основных направления для виброакустического анализа и диагностики автономных транспортных средств: NVH — анализ (Noise, vibration and harshness — шум, вибрация и жёсткость), исследования экспертов-инженеров по анализу спектрограмм транспортных средств и интеллектуальные системы диагностики вибросигналов. Под автономными транспортными средствами (далее по тексту: АТС) будет пониматься наземное колёсное транспортное средство с высоким уровнем автоматизации.

Нельзя не отметить ряд проблем виброакустического анализа современных АТС, во-первых, к ним относят субъективность ощущения жесткости, которую трудно измерить в отличие от шума и вибрации, восприятие жёсткости будет меняться от водителя к водителю (от пассажира к пассажиру) [1,2]. Вторая проблема заключается в трудности анализа и испытаний, поскольку транспортные средства становятся более сложными за счет новых материалов, гибридных силовых агрегатов и электроники, поэтому понимание взаимодействия компонентов и их влияния на шум, вибрацию и неровности становится требует дополнительных усилий. Третья проблема основана на экономической эффективности:

баланс между улучшением виброакустических характеристик и затратами на дополнительные материалы и системы автоматического управления становится менее достижимым [3,4].

Источники шума и вибраций в АТС разделяют на внутренние и внешние. К внутренним будет относиться шум силовых агрегатов и узлов: двигателя, трансмиссии, дифференциала и подвески. Источниками внешних виброакустических сигналов будут шумы шин, ветра и дорожного полотна. Так как эти аспекты хорошо регламентированы в нормативно-правовых документах, остаётся проблема шума и вибраций со стороны неисправных деталей или узлов АТС.

### Обзор современных методов в интеллектуальных системах диагностики

В работе [5] описывается создание сложного диагностического инструмента, использующего передовые методы глубокого обучения для улучшения обнаружения неисправностей в промышленных условиях, используется автоматическое извлечение признаков, возможности работы в режиме реального времени и высокая точность. В статье предлагается применять гибридную модель DNN (deep neural network) и одномерной CNN (D-dCNN) для вибродиагностики, которая автоматически извлекает высокоуровневые признаки из вибрационных сигналов, позволяя эффективно обнаруживать и изолировать неисправности в промышленных приложениях, достигая значительной точности в 92 %.

В статье [6] представлена адаптивная свёрточная нейронная сеть с перекрытием (AOCNN) для диагностики неисправностей по необработанным вибросигналам с учетом дисперсии сдвига и второстепенных вопросов, которая может быть адаптирована для диагностики вибрации грузовых автомобилей путем использования аналогичных методов извлечения признаков.

В следующем исследовании [7] авторами приводится осуществление вибродиагностики грузового автомобиля с использованием нейронных сетей, применение модифицированной нейронной сети ARTMAP для контролируемого обучения, использование передовых методов отслеживания вибрационных трендов и сбор данных с помощью акселерометров для мониторинга состояния и идентификации неисправностей в режиме реального времени.

В статье [8] описывается методология, включающая извлечение признаков с помощью спектрального анализа, а затем двухслойную нейронную сеть с обратным распространением для повторного отбора признаков и обнаружения неисправностей, оптимизацию признаков вибрации для повышения точности диагностики механических систем, таких как грузовые автомобили.

Работа [9] посвящена шумовым данным автомобиля для диагностики неисправностей и оценки уровня шума с использованием моделей глубокого обучения, в частности, с помощью анализа спектрограмм и конволюционных слоев.

В результате анализа систем вибродиагностики все рассмотренные системы, кроме системы мониторинга и защиты оборудования VM 600, разработанной VibroMeter, могут быть усовершенствованы путём внедрения в их программное обеспечение нейросетевого классификатора данных для создания возможности ранней диагностики неисправностей АТС автономно, без участия квалифицированного эксперта.

Чтобы провести вибродиагностику АТС с помощью нейронных сетей, можно использовать различные модели глубокого обучения, которые анализируют сигналы вибрации для обнаружения аномалий и классификации неисправностей. Интеграция свёрточных нейронных сетей (CNN) и глубоких нейронных сетей (DNN) показала значительные перспективы в этой области, обеспечивая эффективное извлечение признаков и высокую точность прогнозирования.

Для получения реальных и репрезентативных данных о шуме в исследованиях часто используются различные типы датчиков для детектирования сигнала с различными частотами и свойствами. Например, микрофонные датчики используются для улавливания звука в воздухе, а акселерометры и датчики вибрации используются для обнаружения шума, связанного с вибрацией компонентов транспортного средства. Комбинация различных датчиков позволяет получить полный набор данных о шуме, что полезно для модели глубокого обучения. Очень важно выбрать подходящую частоту дискретизации данных, чтобы обеспечить получение подробных сведений о шумовом сигнале.

### Описание испытательного стенда

Сбор данных в виде вибрационных сигналов осуществляется с помощью испытательного стенда. Управление двигателем осуществляется инвертором класса LS600 с возможностью задания скорости вращения (60–3000 об/мин), времени разгона и останова. К ротору через упругую пластинчатую муфту крепится вал, установленный на опорах с подшипниками скольжения и качения. На валу располагаются съемные маховики с отверстиями для установки балансировочных грузов. Между маховиками находится опора со специальным механизмом, которым регулируется изгиб вала. Заканчивается вал диском фазовой отметки [7], используемым для определения частоты вращения и фазового сдвига между виброколебаниями на оборотной частоте и тахометрическим сигналом. Электродвигатель и все опоры установлены на инерционном основании.

Измерительная часть стенда представлена набором первичных средств измерения, комплектом модулей предусиления и управления, а также рядом виртуальных измерительных приборов. Для вибрационного контроля в качестве первичных средств измерения используются вибропреобразователи AP2037 со встроенной электроникой.

Модули предусиления и управления скомпонованы в блок управления, имеющий двенадцать входов для подключения вибропреобразователей AP2037 и четыре входа для подсоединения вихретоковых пробников AE050.00.07. Сформированные блоком управления электрические сигналы проходят цифровую обработку 16-канальным модулем АЦП «ZET 210».

Модуль ZET 210 функционирует в режиме непрерывного ввода/вывода аналоговых и цифровых сигналов в память персонального компьютера с возможностью цифровой обработки сигналов. Соотношение сигнал/шум составляет 86 дБ. Эффективная разрядность — 15 бит. Модуль АЦП предназначен для оцифровки сигналов постоянного уровня и переменного напряжения.

Процедура диагностирования по спектру огибающей складывается обычно из следующих операций:

Определяются частоты резонанса диагностируемых узлов (например, резонансная частота зубчатого колеса);

Определяются характерные частоты возмущений (например, зубцовая частота);

В процессе работы механизма определяют спектр огибающей. При этом полосовой фильтр (обычно 1/3 октавный) настраивают на частоту резонанса диагностируемого узла (зубчатого колеса);

В спектре огибающей следят за частотными составляющими, характерными для данного вида дефекта (зубцовая частота). Повышение коэффициента модуляции характерной гармоникой говорит о развитии дефекта.

#### Разработка программных средств машинного обучения интеллектуальной самодиагностики

Программные средства интеллектуальной системы диагностики базируются на распознавании аномалий образов спектрограмм с помощью разновидности свёрточной нейронной сети с возможностью обучения на сокращённом количестве данных — обобщенно-регрессионная нейронная сеть (GRNN — General Regression Neural Network). Данная нейросеть основана на теории непараметрической статистики и использует ядровые методы для аппроксимации функции. GRNN обладает способностью хорошо работать с небольшими объемами данных, устойчивостью к шуму и быстрым обучением.

При предварительных исследованиях структур нейронных сетей был создан алгоритм реконфигурации нейронной сети GRNN.

Для первого ядра свёртки для извлечения характеристик в конкретном случае был использован тип «Лапласиан» с акцентом на обнаружение основных гармоник.

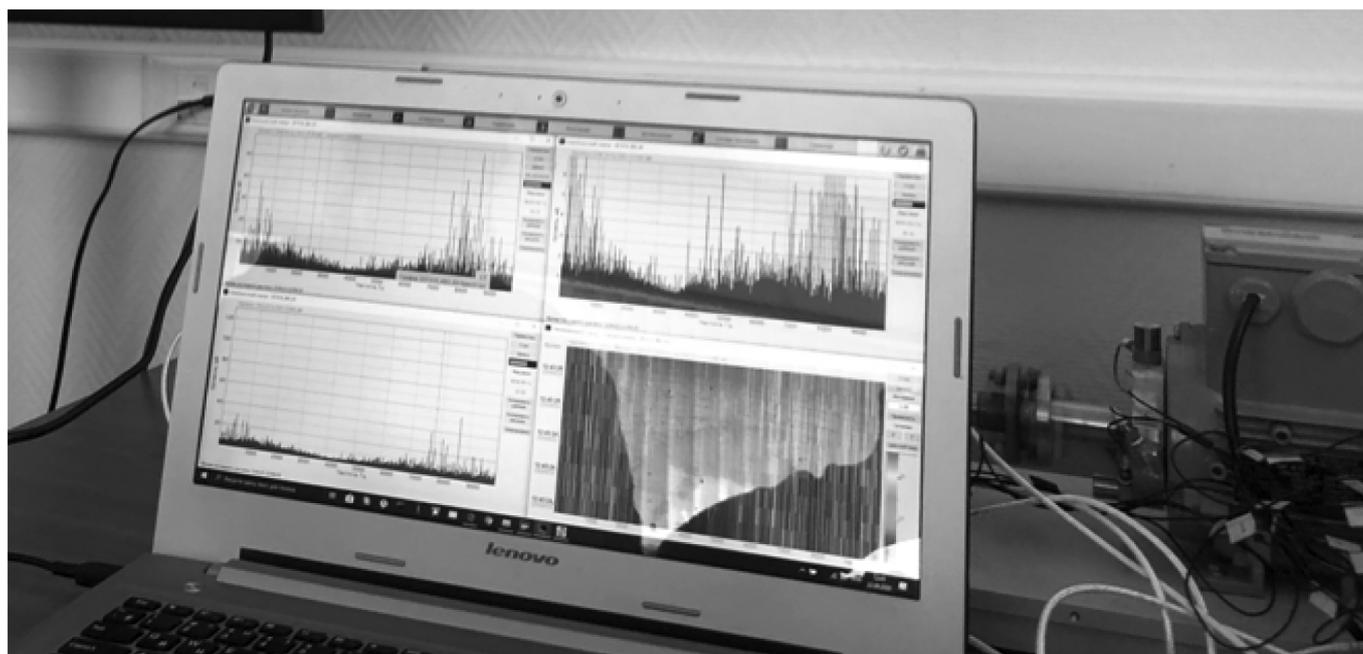


Рис. 1. Блок измерений вибраций стенда генератора неисправности АТС

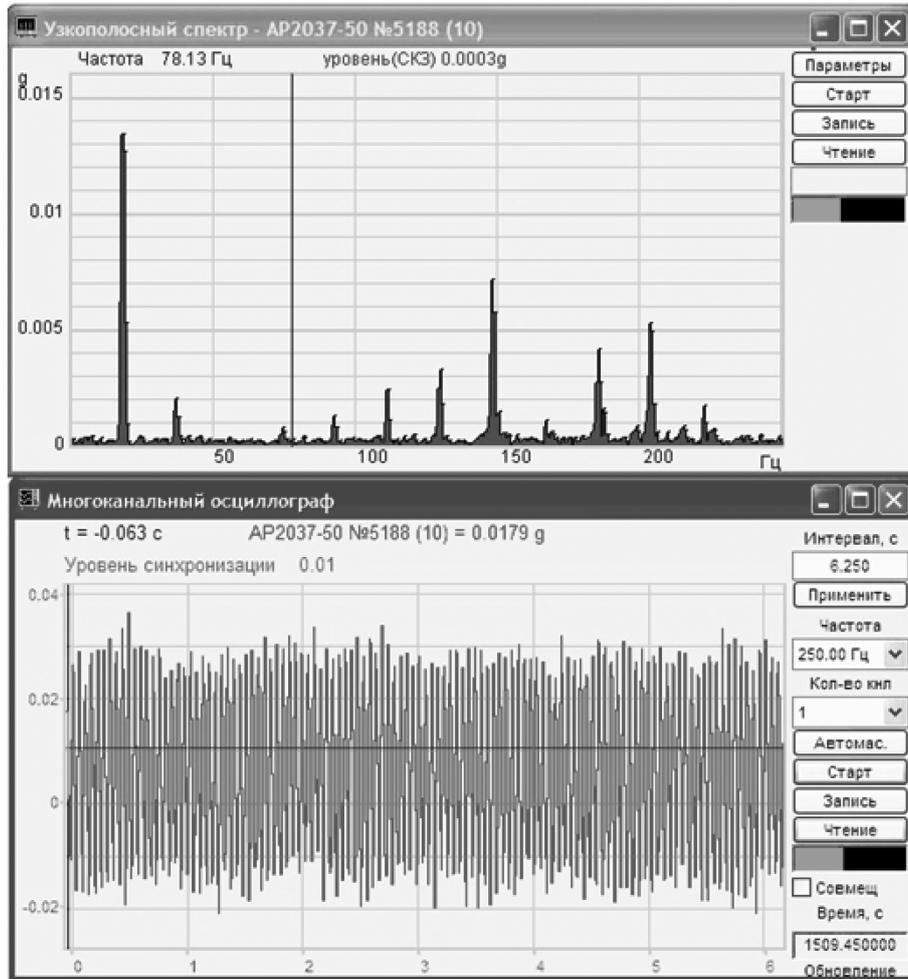


Рис. 2. Признаки неисправностей узлов конструкции АТС на шкале спектра виброизмерений

Сначала вводится конволюционный слой, и входные данные свертываются фильтрами для получения соответствующих характеристик. Конволюционная операция одиночного фильтра представлена в формуле (1):

$$y_n^l = f_l \left( \sum_{m \in V_h^l} y_m^{l-1} \otimes w_{m,n}^l + b_n^l \right), \quad (1)$$

где под оператором  $\otimes$  понимается математическая операция свертки на матрице. В данном случае мощность блока признаков  $y_m^{l-1}$  равен  $H^{l-1} \times W^{l-1}$ , а мощность свёртки  $w_{m,n}^l$  равняется  $r^l \times c^l$ , тогда вводная матрица —  $y_m^l$ .

В слоях объединения GRNN важные признаки резервируются, а количество признаков уменьшается с помощью операции максимального объединения [15]. Работа одного фильтра может быть представлена как:

$$z_n^{l-1} = y_n^{l-1}(2i - 1, 2j - 1) + y_n^{l-1}(2i - 1, 2j) + y_n^{l-1}(2i, 2j - 1) + y_n^{l-1}(2i, 2j) \quad (2)$$

Ядро признакового поля  $n$  слоя объединения / вычисляется, как:

$$y_n^l = \min(f_l(z_n^{l-1} \times w_{m,n}^l + b_n^l)). \quad (3)$$

Карты признаков после извлечения признаков сплюсчиваются в одномерный массив и вводятся в полностью связанные слои. Работа одного нейрона в полностью связанных слоях представлена как:

$$R^l = \frac{R^{l-1}}{2}, M^l = \frac{M^{l-1}}{2}, \quad (4)$$

где  $R$  — входные нейроны,  $M$  — модифицированные весовые коэффициенты.

Алгоритм работы ИИ с применением нейросетевой структуры GRNN, выглядит следующим образом (рис. 3).

Одномерная GRNN с объединением датчиков в параллельную структуру, применяется для прогнозирования трендов неисправностей. Характеристики вибрационных сигналов в направлениях X, Y, Z извлекаются отдельно в виде 3D-спектрограмм. Для того чтобы получить структуру GRNN с лучшей производительностью, применяется оптимизация комбинации гиперпараметров [17-20]. Диапазон оптимизированных гиперпараметров и структура GRNN выбираются.

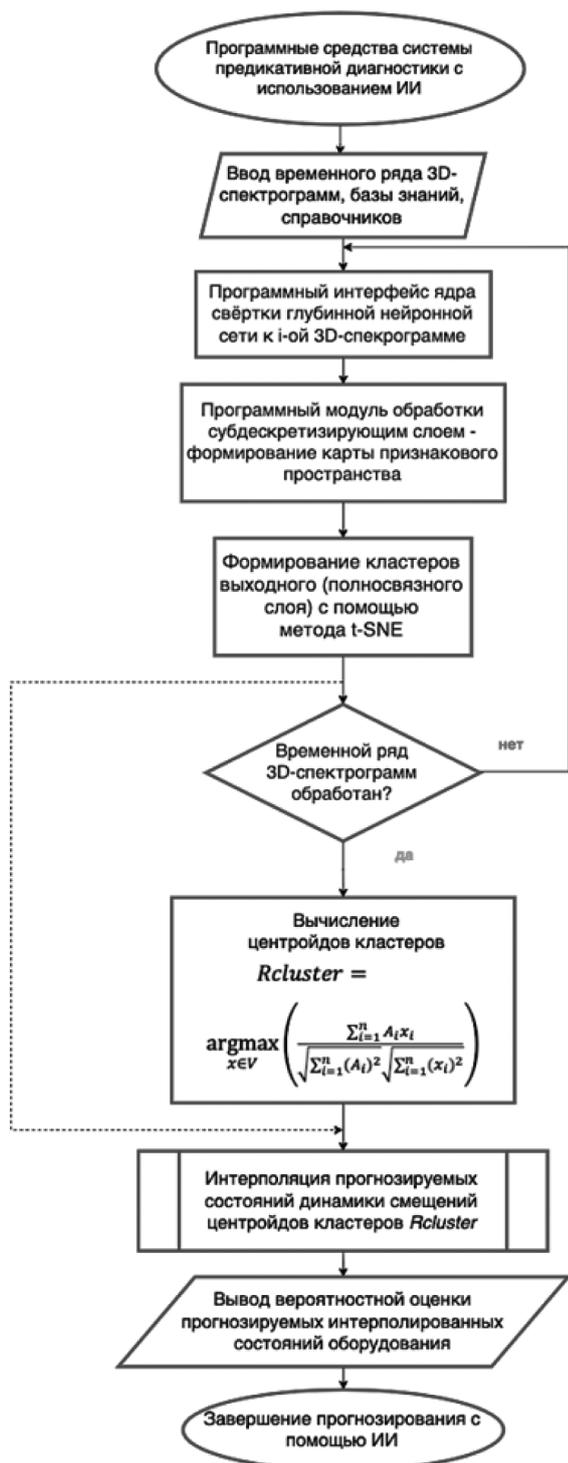


Рис. 3. Алгоритм работы программного обеспечения интеллектуальной системы диагностики

Выделение признаков для трех осевых сигналов одинаково. Производительность модели предполагается как функция гиперпараметров, которая представлена в виде

$$MAPE = fMAPE(FC, FP, NC1, NC2, NF1, NF2). \quad (5)$$

После проведения экспериментов функция между гиперпараметрами и средним MAPE тестирования моделируется с помощью MR и NN для сравнения. Производительность моделей, результаты оптимизации и верификации сравниваются следующим образом. Перед моделированием данные нормализуются.

Сначала моделирование с помощью пошагового MR имеет вид:

$$MAPE = 35.818395 - 1.217292FC - 0.428033FP + 0.758975NC1 + 0.991905NC2 + 0.140401NF1 - 0.224964NF2 + 0.226124FCNF2 + 0.082959FCNC2 - 0.046696FPNC2 + 0.01539FPNF2 - 0.044823NC1NC2 - 0.000967NC1NF2 - 0.010024NC2NF1 - 0.00065NF1 \quad (6)$$

Целью оптимизации является минимизация пригодности. Сочетание гиперпараметров, оптимизированное с помощью алгоритма полного факторного поиска, следующее: FC=25, FP=20, NC1=20, NC2=20, NF1=100, NF2=10.

Прогнозирование основывается на разработанной методике применения GRNN к временному ряду 3D-спектрограмм и анализу динамики смещения центроидов кластеров полносвязного слоя на временном ряду с интерполяцией вероятностей отказа для каждого 3D-образа спектрограмм. Центроиды кластеров  $Rcluster$ , полученные методом t-SNE, применительно к полносвязному слою GRNN, могут сходиться или расходиться друг относительно друга показывая динамику изменения остаточного ресурса во времени. Поэтапная обработка спектрограмм с помощью искусственного интеллекта, представленного глубинными нейронными сетями, показана ниже.

После проведения каждого этапа обучения проверялось качество обучения, достигнутое на данном этапе обучения, путем предъявления на входы ЭПК наборов входных данных, которые не участвовали в обучении. После чего рассчитывалась вероятность (доля) правильного и ложного распознавания (классификации) входных наборов данных и составлялась таблица максимальной вероятности неправильной классификации в зависимости от номера этапа обучения. Обучение считается успешным, если достоверность классификации неисправностей составляет не менее 0,95.

Роторная установка, у которой вибрация при скорости вращения 2x превышает 150 % от 1x, указывает на серьезную несоосность. Роторная установка должна как можно скорее отправиться на ремонт. Как упоминалось ранее в этом разделе, показания фаз являются еще одним фактором, который помогает определить точную проблему.

Фазовые измерения являются очень полезным инструментом для диагностики несоосности. Если возмож-

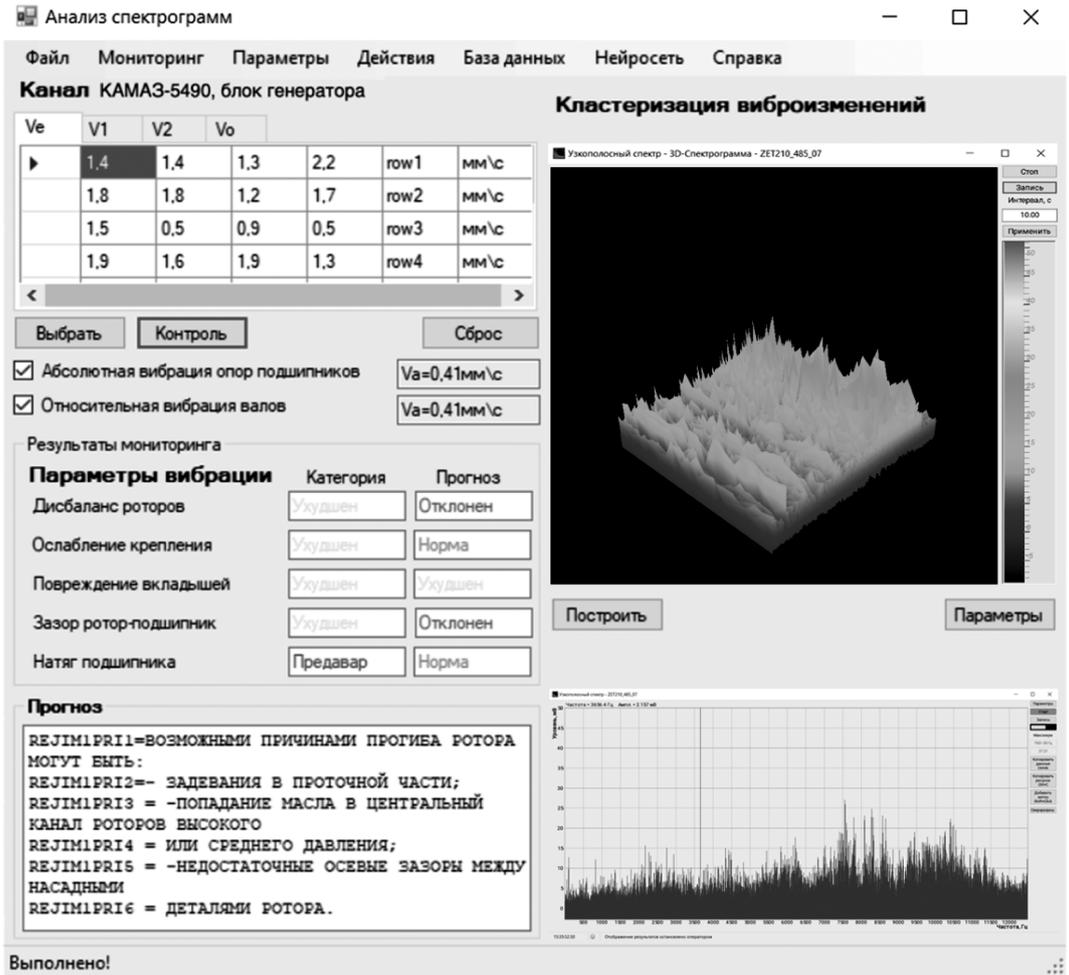


Рис. 4. Результаты работы интеллектуальной системы диагностики

но, измерьте сдвиг фаз между осевыми показаниями на противоположных концах ротора.

Чтобы оценить точность прогноза, мы рассчитываем коэффициент определения  $R^2$  и среднюю абсолютную ошибку (MAE)[16,20]. Средний модуль отклонения (MAE — Mean Absolute Error или MAD — Mean Absolute Deviation) находится по формуле (7):

$$MAE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |a_i - y_i|, \quad (7)$$

$a_i$  — прогнозируемый результат,  $y_i$  — фактический результат,  $m$  — размер выборки,  $R^2$  — доля дисперсии зависимой переменной.

Определялось значение достоверности обнаружения прогнозируемой неисправности и показатели точности прогноза (таблица 1).

Исходя из анализа реакции оператора, можно сделать вывод об эффективности применения модуля прогнозирования категории неисправности.

Таблица 1.

Результаты нейросетевой классификации и зафиксированное распределение ошибки прогноза

№	Сигнал вида неисправностей	Достоверность определения	$R^2$	MAE
11	«Неудовлетворительное состояние подшипников ступиц колес»	0,95	0,86	750
22	«Износились или повреждены шарниры рулевого привода или нижний шарнир подвески»	0,95	0,81	640
33	«Раскрутились гайки или болты крепления колес»	0,98	0,94	620
44	«Изношены задние амортизаторы»	0,96	0,86	610
55	«Не отбалансированы передние колеса»	0,94	0,88	670
66	«Повреждение или деформация колес»	0,97	0,71	830
78	«Дефект подшипников»	0,99	0,9	680

Для этих входных данных рассчитывалась достоверность классификации неисправностей.

Достоверность классификации неисправностей по параметрам абсолютной вибрации опор подшипников вала БГА составила не менее 0,95.

### Заключение

Таким образом, предлагается подход к анализу неисправностей большегрузных автомобилей, основанный на спектральных характеристиках. Для анализа

использовался аппарат модифицированного вейвлет-преобразования с применением нейронной сети типа рекуррентный автоэнкодер. В результате нейронная сеть научилась выявлять кластеры с критическими состояниями вибрации на временном участке более 24 ч. При появлении новых данных модуль прогнозирования установит кластер данных с дисперсией не более 0,2 и определит тип прогнозируемой неисправности.

Данный подход и методы имеют свои ограничения, исследования которых могут являться предметом дальнейшего поиска и экспериментов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Асанов А.З. Моделирование динамики подвески большегрузного автомобиля в процессе преодоления препятствий / А.З. Асанов, А.С. Веркнер // Автоматизация и измерения в машино — приборостроении. — Севастополь: Издательство «Севастопольский государственный университет», 2023. — С. 11–22.
2. G.C. Stone, E.A. Boulter, I. Culbert, et al. *Electrical Insulation for Rotating Machines*, 2nd ed. Hoboken NJ: Wiley, 2014. — 672 с.
3. Шабает В.М., Казанцев А.С., Леонтьев М.К., Гаранин И.В., Карасев В.А. Вибродиагностика повреждений подшипников качения при монтаже и сборке тяжелых роторных узлов. // Контроль. Диагностика. ISSN: 0201-7032 М.: Издательский дом «Спектр», 2007. — №11. — С.18–27.
4. Dong Yul Oh and Il Dong Yun. Residual Error Based Anomaly Detection Using Auto-Encoder in SMD Machine Sound / Sensors. — 2018. — Vol. 18, — 1308 p.
5. Crina, Narcisa, Deac., Gicu, Calin, Deac., Radu, Constantin, Parpala., Cicerone, Laurentiu, Popa., Costel, Emil, Cotet. (2021). Vibration Anomaly Detection using Deep Neural Network and Convolutional Neural Network. *International Journal of Modeling and Optimization*, 19-28. doi: 10.7763/IJMO.2021.V11.772
6. Ugochukwu, Ejike, Akpudo., Jang-Wook, Hur. (2021). D-dCNN: A Novel Hybrid Deep Learning-Based Tool for Vibration-Based Diagnostics. *Energies*, 14(17):5286-. doi: 10.3390/EN14175286
7. Weiwei, Qian., Shunming, Li., Jinrui, Wang., Zenghui, An., Xingxing, Jiang. (2018). An intelligent fault diagnosis framework for raw vibration signals: adaptive overlapping convolutional neural network. *Measurement Science and Technology*, 29(9):095009-. doi: 10.1088/1361-6501/AAAD101
8. Keming, Wang. (2006). Neural Network Approach to Vibration Feature Selection and Multiple Fault Detection for Mechanical Systems. 3:431–434. doi: 10.1109/ICICIC.2006.475
9. Kyoung, Jin, Noh., Dongchul, Lee., Jaemin, Jin., In-Soo, Jung., Joon-Hyuk, Chang. (2023). Development of Deep Learning-based Vehicle Diagnosis Technology Using Noise Data. *Transactions of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 33(3):306–312. doi: 10.5050/ksnve.2023.33.3.306
10. Веркнер А.С. Исследование принципов компенсации возмущения, действующего на динамику мобильного робота / А.С. Веркнер, К.О. Горлова, Е.О. Гурьянова // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сборник трудов Международной научной конференции. — Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2023. — С. 1500–1508.
11. Веркнер А.С. Разработка алгоритмов управления мобильным роботом с компенсацией возмущения / А.С. Веркнер, К.О. Горлова, Е.О. Гурьянова // Вестник воронежского государственного технического университета. — Воронеж: Издательство ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2023. — С.16–24. DOI 10.36622/VSTU.2023.19.4.002.
12. Sarrazin M. Electro-vibro-acoustic analysis of electric powertrain systems / M. Sarrazin, K. Janssens, C. Wilfried, H. Van der Auweraer // FISITA WORLD AUTOMOTIVE CONGRESS. — 2014. — 9 p.
13. Охтилев М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. — М.: Наука, 2006. — 410 с.
14. Lee J.Y., Derroncourt F. Sequential Short-Text Classification with Recurrent and Convolutional Neural Networks // *Proceedings of NAACL-HLT*. 2016. — pp. 515–520.
15. Назолин А.Л., Поляков В.И. Виброударные режимы движения в дефектном узле подвески сердечника статора мощного генератора. — Сборник трудов XV симпозиума «Динамика виброударных (сильно нелинейных) систем». Москва — Зеленоград: РАН — ИНМАШ им. А.А.Благодарова, 2006. — С.200–205/
16. Морозова Т.Ю., Бекаревич А.А., Будадин О.Н. Новый подход к идентификации дефектов материалов изделий. — *Контроль. Диагностика*. — № 8 (194), 2014, — С.42–48.
17. Акимов Д., Круг П., Остроух А., Ивченко В., Морозова Т., Садыков И. Имитационная модель автономного движения автоприцепа в условиях экстремальной и нестационарной среды. *Международный журнал прикладных инженерных исследований*, ISSN 0973-4562, Том 11, 2016. — С. 6435–6440.
18. Акимов Д.А. Применение компьютерного зрения в работе операторов управления на промышленных объектах. // *Промышленные АСУ и контроллеры*. Научтехлитиздат, 2011, №5, — С. 1–6.
19. Кулагин В., Иванов А. И., Кузнецов Ю. М., Чулкова Г. М. Многомерное взаимное упорядочение паттернов с использованием набора предварительно обученных искусственных нейронных сетей // *Физический журнал: Серия конференций*. 2017. Том 803. № 1, — С. 1–6.
20. Кулагин В., Акимов Д., Павельев С., Потапов Д. Автоматизированная идентификация критических неисправностей авиационных двигателей на основе модифицированного вейвлет-преобразования и кластеризации глубоких нейронных сетей IOP 1. Серия конференций: Материаловедение и инженерия. Том 714, выпуск 1, 3 января 2020 г., 714. 012014. Издательство Института физики DOI 10.1088/1757-899X/714/1/012014

© Веркнер Алексей Сергеевич (aleksverk@mail.ru); Горлова Ксения Олеговна (ko.gorlova@yandex.ru);  
Акимов Дмитрий Александрович (akim-dmitrij@yandex.ru); Гурьянова Екатерина Олеговна (guryanova-e.o@yandex.ru);  
Маяк Александр Александрович (alexmaiak@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО МОДУЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ СОТРУДНИКОВ НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ-РАЗРАБОТЧИКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

FEATURES OF DESIGNING A MOBILE MODULE FOR AN EMPLOYEE WORKING TIME ACCOUNTING INFORMATION SYSTEM USING THE EXAMPLE OF A SOFTWARE DEVELOPMENT COMPANY

*I. Gantt  
E. Berger  
N. Abramova*

*Summary.* Thanks to the use of modern information technologies, enterprise management has become more mobile; an employer can control work processes and evaluate employee performance not only in the workplace, but also analyze reports directly on the screen of his smartphone. This article discusses the design features of a mobile module of an information system used by employees of a software development company for working interaction between employees and reflecting the use of working time in reports.

*Keywords:* hours worked, mobile development, software design, business process automation, management of company employees.

**Гантц Ирина Сергеевна**

к.э.н., РТУ МИРЭА Российский технологический университет, г. Москва  
gantc@mirea.ru

**Бергер Екатерина Геннадьевна**

к.э.н., РТУ МИРЭА Российский технологический университет, г. Москва  
gantc@mirea.ru

**Абрамова Надежда Олеговна**

РТУ МИРЭА Российский  
abra223344@mail.ru

*Аннотация.* Благодаря использованию современных информационных технологий управление на предприятиях стало более мобильным, работодатель может контролировать рабочий процесс и оценивать производительность сотрудников не только на рабочем месте, но и анализируя отчеты прямо на экране своего смартфона. В данной статье рассматриваются особенности проектирования мобильного модуля информационной системы, используемой сотрудниками компании-разработчика программного обеспечения для рабочего взаимодействия между сотрудниками и отражения использования рабочего времени в отчетах.

*Ключевые слова:* отработанное время, мобильная разработка, проектирование программного обеспечения, автоматизация бизнес-процессов, управление деятельностью сотрудников компании.

В современном мире доступность к мобильному устройству куда выше, чем к персональному компьютеру. Телефон позволяет выполнять большое количество задач, даже не находясь на рабочем месте. Мобильный доступ к информационной системе позволяет решать рабочие вопросы в удобное время, без привязки к офису, также не требует очного присутствия руководителя при сдаче сотрудниками отчетов.

Предметом данного исследования является процесс учета рабочего времени сотрудников на предприятии-разработчике программного обеспечения для различных отраслей бизнеса.

Работа отдела внедрения информационных систем предприятия включает следующие функции:

- продажа программных приложений;
- установка программных приложений;
- почасовые ИТ-услуги;
- работа по перечню работ и плану-графику обслуживания клиентов;

- комплексное сопровождение;
- продажа и сопровождение типовых решений, разработанных на платформе 1С;
- участие во внешних и внутренних ИТ-проектах.

В качестве отправной точки рассмотрим следующую ситуацию. Отдел использует информационную систему разработанную на платформе 1С Предприятие для автоматизации внутренних процессов компании. В свою очередь, модуль будет предназначен для выполнения частичного функционала информационной системы через мобильное устройство, а именно:

- учета выполнения задач;
- утверждения отгулов или же отпусков;
- формирования отчетов о работе.

Основные сотрудники, участвующие в бизнес-процессе, это руководитель, специалист, менеджер.

Текущее состояние исследуемого бизнес-процесса:

- Работа с задачами. Процесс начинается с момента, когда менеджер распределяет задачу по работе с клиентом специалисту. Специалист, получивший задачу, читает описание и принимает решение: принимает или отклоняет задачу, либо отправляет задачу обратно менеджеру на уточнение. Специалист связывается с клиентом, уточняет время и формат работ и в назначенный день проводит работы. После выполнения заполняет документ «Отчет о выполненных работах» и документ задачи и отправляет их руководителю на проверку. Руководитель утверждает или пересылает обратно для исправления ошибок. После решения всех вопросов специалист отражает закрытие задачи в информационной системе;
- Утверждение отгулов — предназначено для формирования запроса сотрудником и утверждения руководителем отгулов, отпусков или больничных. Процесс начинается с того, что специалист формирует документ заявки, указывает период отсутствия и вид отсутствия. Как и с задачами, руководитель утверждает, либо просит что-то изменить в документе. Окончательному варианту, руководитель присваивает статус «Утверждено»;
- Фиксация рабочего времени — сотрудник отмечает в информационной системе проделанную работу. Отчет о работе заполняется ежедневно сотрудником в конце рабочего дня, указываются выполненные задачи, проекты, встречи с клиентами, а также все виды пропусков. Руководитель проверяет отчеты подчиненных сотрудников два раза в месяц и утверждает их.

К недостаткам существующей технологии бизнес-процесса можно отнести следующие моменты:

- в информационную можно зайти только с использованием компьютера/ноутбука, что может быть не очень удобно. Особенно при выездных работах легче всего открыть отчет о через телефон, заполнить, отправить руководителю и сразу же сдать работу клиенту;
- также при работе с задачами время отклика может варьироваться от пары минут до нескольких дней, так как уведомление на рабочую почту может прийти с опозданием или вовсе не прийти;
- возникает большое количество замечаний сотрудникам, так как они могут поздно реагировать на задачу, а также забывать заполнять отчеты о работах.

При проектировании мобильного модуля поставлена задача на разработку, которая включает в себя функциональные требования:

- мобильный модуль должен позволять работать специалистам со своими задачами, в том числе да-

вать редактировать документ задачи, указывать, что было сделано, какая работы была проведена с клиентом, вид программного обеспечения;

- мобильный модуль должен формировать документ «Отсутствие сотрудника» и «Отчет о работе»;
- мобильный модуль должен проверять, что выбранный день документа является рабочим, а также рассчитывать общее количество часов в отчете.

Нефункциональные требования:

- возможность запуска на различных мобильных устройствах;
- наличие шифрования данных при отправке, а также дешифрования при получении;
- наличие удобного пользовательского интерфейса;
- возможность использования в системе различных ролей, за которыми будут закреплены права в информационной системе;
- наличие авторизации в системе, сопоставляющей логин и права доступа в систему.

Усовершенствованная технология выполнения бизнес-процесса строится уже с учетом мобильного модуля.

Мобильный модуль будет представлять собой клиентское мобильное приложение на базе мобильной платформы «1С: Предприятие 8.3» под управлением Android. Модуль связывается с веб-сервером 1С через HTTPS-сервис, где расположена основная конфигурация. Данные будут приходиться и уходить в формате JSON-файлов.

Изменения в бизнес-процессе сформированы с учетом использования мобильного модуля. Подпроцесс «Работа с задачами» остался прежним, а вот подпроцессы «Оформление отпуска» и «Фиксация рабочего времени» изменились.

«Оформление отпуска» — при оформлении документа теперь присутствие руководителя не обязательно. Специалист создает документ и уведомляет начальство. Как только документ будет проверен руководителем, специалист сразу же узнает результат, ему придет уведомление на мобильное устройство.

«Фиксация рабочего времени» — при закрытии документа теперь запускается сервисная задача на проверку количества часов, оно не должно превышать рассчитанную норму. Нормой считаются часы по производственному календарю.

В документе «Отчет о работе» мобильного модуля рассчитываются следующие показатели:

1. Общая сумма часов в документе «Отчет о работе».
2. Количество часов по дням недели.
3. Сумма часов по строкам документа.

Общие часы отработанного времени по строкам в документе «Отчет о работе» вычисляются суммой общих часов по дням недели. Количество часов, занятого рабочими задачами в течение дня, вычисляется суммой часов по задачам. Сумма часов по строке вычисляется произведением ставки на количество часов, указанных в строке.

Мобильный модуль ограничен по функционалу по сравнению с основной информационной системой. В него будет входить учет рабочего времени, работа с задачами, формирование документов отсутствия сотрудника. Модуль будет иметь доступ к основной информационной системе.

Последовательность этапов выполнения работ в мобильном модуле:

1. Пользователь устанавливает файл формата “.apk” себе на мобильное устройство. Он расположен на общем диске компании.
2. После установки пользователь проходит авторизацию.
3. Главная страница представляет собой список текущих задач исполнителя.
4. По нажатию на задачу из списка, открывается окно самой задачи. Оно содержит описание, историю взаимодействия, связанные документы.
5. Пользователь отражает взаимодействие по задаче: принять, отклонить, отправить на уточнение, отразить взаимодействие, отразить работы в листе учета рабочего времени, завершить.
6. Пользователь указывает тэги, которые будут идентифицировать содержание задачи: вид работ, программный продукт, тип работ.
7. Также пользователю необходимо прикрепить информацию о программном продукте к задаче. Для этого предусмотрена страница в документе

задачи. Пользователь выбирает из списка программных продуктов для клиента тот, с которым работал.

8. Затем идет раздел с документами отсутствия. С помощью мобильного модуля можно формировать документ «Отсутствия». Специалист формирует документ, если хочет взять отгул или отпуск, или отметить больничный и т.д. На форме документа необходимо указать следующие поля: период отсутствия, вид отсутствия и на какого сотрудника будут перенаправляться приходящие задачи.
9. У данного документа есть поле статус, его может менять только руководитель. После проверки документа статус «Черновик» может стать «Отбракковано», если руководителя что-то не устроило или же на «Утверждено».
10. Документ «Отчет о выполненных работах» — содержит информацию о рабочей неделе исполнителя, он строится на одну неделю. Сотруднику необходимо дополнять его в конце рабочего дня. Руководитель будет проверять и менять статусы отчетов дважды в месяц.

Мобильный модуль позволит решить проблему с постоянным напоминанием для сотрудников о том, что в конце рабочего дня надо заполнить отчет. Даже если сотрудник уже покинул рабочее место, он может сформировать документ со смартфона. Также, работа с задачами станет в разы проще, оперативность отклика станет выше. Учитывая тот факт, что задачи бывают разъездные, быстрее всего заполнить отчет о выполненной работе и отправить информацию через телефон. По итогу мобильный модуль упростит процесс фиксации рабочего времени благодаря своей доступности и мобильности, уменьшит количество замечаний к сотрудникам, повысит их эффективность и упростит формирование обязательных документов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Главная страница. — Текст: электронный // rarus: [сайт]. — URL: <https://rarus.ru/> (дата обращения: 04.06.2023).
2. 1С-Рарус. — Текст: электронный // VK: [сайт]. — URL: <https://vk.com/rarus1c> (дата обращения: 17.06.2023).
3. Организационная структура предприятия: виды и схемы. — Текст: электронный // kontur: [сайт]. — URL: <https://kontur.ru/articles/4197> (дата обращения: 04.09.2024).
4. Хрусталева Е.Ю. Знакомство с разработкой мобильных приложений на платформе «1С:Предприятие 8». Издание 3. / Е.Ю. Хрусталева. — Москва: 1С-Паблишинг, 2022. — 276 с
5. Нефункциональные требования: как не пустить систему ко дну / SimbirSoft. — Текст: электронный // habr: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/sibirsoft/articles/688428/> (дата обращения: 04.06.2023).
6. Автоматизация бюджетирования в ООО УК «ФБК» на базе «1С:Управление холдингом» и разработка мобильного приложения для учета рабочего времени / У. «. ООО. — Текст: электронный // solutions.1c.ru: [сайт]. — URL: <https://solutions.1c.ru/projects/1070326/> (дата обращения: 04.06.2024).

© Гантц Ирина Сергеевна (gantc@mirea.ru); Бергер Екатерина Геннадьевна (gantc@mirea.ru);  
Абрамова Надежда Олеговна (abra223344@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РОБОТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

## ROBOTIZATION OF PRODUCTION PROCESSES: CHALLENGES AND PROSPECTS

**A. Goncharov  
A. Lahtin**

*Summary.* Robotization of production processes is one of the most relevant topics for the study of ways to increase the efficiency of industrial production. However, despite the active development of robotics processes, there are a lot of challenges and problems in this area that create obstacles. The article examines the essence of robotization of production processes, its advantages for enterprises, identifies problems and challenges in the field of robotics at Russian enterprises, suggests ways to solve the identified problems, and also considers possible prospects for robotization in Russia. The author comes to the conclusion that Russian enterprises have favorable prospects in the development of robotization processes, however, when solving some problems. Among the problems identified were the following: low wages for workers, as a result of which robotization in most sectors of the Russian economy is ineffective; the resistance of workers due to the possible loss of jobs as a result of the reduction of unskilled workers, increased demands on workers, Russia's technological dependence on imported robotic equipment, the need for large investments in equipment and process tuning. Solving the identified problems through the proposed directions, taking into account the efforts of the state, business and the educational sector, can significantly accelerate the process of robotization in Russia and bring long-term economic and social benefits.

*Keywords:* robotization, robotics, problems of robotization, automation of production, production efficiency, innovative technologies.

**Гончаров Андрей Витальевич**

Кандидат технических наук, доцент,  
Московский государственный университет технологий  
и управления имени К.Г. Разумовского  
a.goncharov@mgutm.ru

**Лахтин Алексей Артемович**

Московский государственный университет технологий  
и управления имени К. Г. Разумовского  
lakhtin.l@mail.ru

*Аннотация.* Роботизация производственных процессов является одной из наиболее актуальных тем для исследования способов повышения эффективности промышленного производства. Однако, несмотря на активное развитие процессов роботизации, в данной сфере существует масса вызовов и проблем, создающих препятствия. В статье рассмотрена сущность роботизации производственных процессов, ее преимущества для предприятий, выявлены проблемы и вызовы в области роботизации на предприятиях России, предложены пути решения выявленных проблем, а также рассмотрены возможные перспективы роботизации в России. Автор приходит к выводу, что российские предприятия имеют благоприятные перспективы в развитии процессов роботизации, однако при решении некоторых проблем. Среди проблем были выявлены следующие: низкий уровень оплаты труда рабочих, в результате чего роботизация в большинстве отраслей российской экономики является неэффективной; сопротивлением работников из-за возможной потери рабочих мест в результате сокращения неквалифицированных работников, повышения требований к работникам, технологическая зависимость России от импортного робототехнического оборудования, необходимость больших инвестиций в оборудование и настройку процессов. Решение выявленных проблем через предложенные направления с учетом усилий государства, бизнеса и образовательного сектора, может значительно ускорить процесс роботизации в России и принести долгосрочные экономические и социальные выгоды.

*Ключевые слова:* роботизация, робототехника, проблемы роботизации, автоматизация производства, эффективность производства, инновационные технологии.

### Введение

Роботизация представляет собой достаточно актуальную тему для исследования, что обусловлено ее важностью в повышении эффективности производственных процессов в условиях цифровизации. В России данная тема весьма противоречива, так как роботизация на промышленных предприятиях сталкивается с многими вызовами, поэтому ее темпы замедлены. Так, в мире по количеству роботов на 10 тыс. рабочих на предприятиях промышленности в 2022 году среди стран мира лидером стала Южная Корея (1000 ед.), за ней в рейтинге расположились Сингапур (670 ед.), Япония (399 ед.). При этом в России данный показатель в 2022 году был равен 6 ед. при среднемировом уровне 141 ед. на 10 тыс.

работников [10]. Поэтому выявление вызовов роботизации в России и их причин, а также разработка предложений по устранению проблем является целью данного исследования.

### Материалы и методы исследования

Работа основана на трудах отечественных и зарубежных экономистов, которые посвящены вопросам роботизации в мире и России, а также проблемам роботизации в России и влиянию пандемии коронавируса на процессы роботизации в условиях глобальной цифровизации. Методы исследования: описание, сравнение, сопоставление, анализ, аналогия, систематизация.

**Результаты и обсуждения**

Большинство авторов сходятся во мнении, что роботизация производства представляет собой процесс внедрения робототехнических систем и автоматизированных решений в промышленные операции с целью повышения эффективности, снижения издержек и улучшения качества продукции [1, 2, 11, 12].

Преимущества роботизации, описываемые отечественными и зарубежными авторами, представлены на рисунке.

Как видим, роботизация производственных процессов представляет собой мощный инструмент для повышения эффективности и конкурентоспособности бизнеса. Однако для успешного внедрения необходимо учитывать как технические, так и социальные аспекты, обеспечивая баланс между автоматизацией и сохранением рабочих мест.

Существует множество отраслей, где роботизация развивается достаточно активно. Прежде всего, следует сказать об отрасли автомобилестроения, которая является одной из наиболее роботизированных отраслей. Заводы активно используют роботов для сборки автомобилей, сварки, покраски и других процессов [12]. Около 1/3 всех роботов в мире приходится на отрасль автомобилестроения, которая является крупнейшим потребителем робототехники в мире. Например, в Южной Корее на 10 тыс. работников автомобильной промышленности

приходится 2867 роботов, то есть одного робота обслуживает около четырех работников, в том числе выполняющая свои задачи и функции [4].

Также следует сказать о применении роботов в таких отраслях, как металлургия и тяжелая промышленность, пищевая промышленность, электроника и машиностроение. В указанных отраслях роботы применяются для выполнения тяжелых и опасных работ, таких как литье,ковка и обработка металлов, при производстве сложных устройств с высокой точностью и в больших объемах, для увеличения скорости и точности упаковки, сортировки и других операций [1].

Отдельно следует сказать о роботизации логистики и складирования на промышленных предприятиях, что в последние годы очень активно развивалось. Использование автоматизированных складских систем и роботов для транспортировки и сортировки товаров помогает оптимизировать логистические процессы, укоротить процессы доставки, управлять запасами [3].

Степень роботизации в разных отраслях отличается в зависимости от специфики. Но в некоторых из них или в отдельных производственных направлениях степень роботизации и тем самым замены ручного труда работников способна достигать 80 %, как, например, в тепличном хозяйстве [9].

В России пандемия коронавируса оказала значительное влияние на процессы роботизации в промыш-



Рис. 1. Преимущества роботизации производственных процессов

Источник: составлено автором по данным [1, 2, 11, 12]

ленности. Ограничения, введенные для борьбы с распространением вируса, стимулировали рост и развитие некоторых сегментов робототехники. Спрос на роботов, способных проводить дезинфекцию помещений, резко вырос. Такие роботы использовались в больницах, аэропортах и других общественных местах для снижения риска распространения вируса. Кроме того, ограничения и меры по социальному дистанцированию увеличили потребность в автоматизации процессов на складах и в логистике. Роботы для автоматизированной сортировки, упаковки и доставки товаров стали более востребованы. Также в медицинской сфере наблюдался рост использования роботов для выполнения задач, таких как доставка медикаментов и оборудования внутри больниц, проведение телемедицинских консультаций и даже помощь в хирургических операциях. С увеличением времени, проводимого дома, возрос интерес к роботам для домашнего использования, таким как роботы-пылесосы и роботы для личной помощи. Также пандемия ускорила автоматизацию в производственных процессах, так как компании стремились минимизировать зависимость от человеческого фактора и обеспечить непрерывность производства [6, 8]. Очевидно, что пандемия стала катализатором, который ускорил внедрение и развитие робототехники в различных сферах, способствуя изменениям, которые, вероятно, останутся актуальными и после завершения пандемии.

В настоящее время, как показало исследование TAdviser, более 90 % крупных промышленных предприятий в России уже используют роботов и более половины планируют приобретать такие решения в ближайшую пару лет [6]. Однако, если рассматривать количество роботов в соотношении с работниками, то уровень роботизации является низким: на 10 тыс. рабочих приходится всего 6 единиц робототехники в 2022 году при среднем мировом уровне 141 ед. на 10 тыс. работников [10].

Следовательно, Россия сталкивается с рядом вызовов в области роботизации. Основным препятствием и вызовом роботизации в России экономисты считают низкий уровень оплаты труда рабочих, в результате чего роботизация в большинстве отраслей российской экономики является неэффективной, так как дешевле оплатить сотрудников, чем приобрести и обслуживать роботизированную технику [2]. Учитывая сравнительно низкий уровень развития автомобилестроения в России в сравнении с другими странами, объясняется низкий темп процессов роботизации.

Еще один вызов в сфере роботизации российских промышленных предприятий связан с большим сопротивлением работников из-за возможной потери рабочих мест в результате сокращения неквалифицированных работников, так как роботы могут выполнять многие рутинные задачи быстрее и эффективнее чело-

века. Возникают вопросы о том, как будет изменяться роль человека в производственном процессе и как это повлияет на социум в целом. Согласно исследованию С.В. Размановой, О.В. Андруховой, каждый новый робот, как правило, заменяет 5–6 работников, тогда как установка одного промышленного робота на 1 тыс. работников, трудоустроенных в индустрии, снижает численность занятых в промышленности на 0,34 % [7]. Также сопротивление работников связано с тем, что с ростом автоматизации повышаются требования к работникам, появляется необходимость получения новых навыков, переобучения, что зачастую связано с недовольством работников из-за страха ошибки. Поэтому роботизация сдерживается неквалифицированными работниками. На рынке труда при этом повышается спрос на специалистов с навыками в области программирования, управления роботами и анализа данных.

Также следует сказать о технологической зависимости России в сфере роботизации. Большая часть робототехнического оборудования импортируется, что создает зависимость от зарубежных поставщиков и делает отрасль уязвимой к внешним экономическим и политическим факторам [8].

Для небольших предприятий роботизация может быть недоступной вообще либо сопровождаться достаточно большими расходами, так как внедрение роботизированных систем требует значительных инвестиций в оборудование и настройку процессов.

Тем не менее, правительство и частный сектор России осознают важность роботизации и предпринимают шаги для стимулирования ее развития, включая государственные программы поддержки, развитие научно-исследовательских центров и образовательных инициатив. Существуют следующие меры поддержки робототехники: стимулирование выпуска отечественной продукции, развитие технологической инфраструктуры, проведение научных исследований, финансовая поддержка проектов от Минпромторга России, Минкомсвязи России, Миннауки и высшего образования РФ, Фонда перспективных исследований, Фонда развития промышленности, Российского научного фонда и других организаций [5].

Стимулирование отраслей-производителей роботов и их компонентов, прежде всего, подразумевает под собой необходимость инвестиций в машиностроительную отрасль и доступа предприятий к «длинным дешевым деньгам». По мнению ряда авторов, именно недостаточное развитие машиностроения в Российской Федерации обуславливает её отставание в роботизации экономики [8].

Для решения выявленных проблем необходима более активная поддержка отечественных производи-

телей робототехники с целью снижения зависимости от импорта, включая налоговые льготы, субсидии и другие формы государственной поддержки. Также важно поддерживать образовательные инициативы, в том числе развивать образовательные программы и курсы повышения квалификации специалистов в области робототехники и автоматизации. При этом главную роль должны играть вузы и профессиональные учебные заведения, с которыми предприятиям необходимо наладить тесное взаимодействие. Также необходимо сотрудничество с зарубежными компаниями для обмена опытом и технологиями, а также для привлечения инвестиций в российскую робототехнику. В данном случае необходимо обратить внимание на китайские компании, так как в последние годы усиливается экономической сотрудничество с этой страной.

Для повышения осведомленности работников предприятий и преодоления их сопротивления важно проведение информационных кампаний и тренингов с демонстрацией преимуществ автоматизации, таких как повышение производительности и улучшение условий труда. В этой связи возможно создание и поддержка пилотных проектов, которые могут служить примерами успешной интеграции роботов в производство, что поможет преодолеть недоверие и сопротивление к изменениям.

Решение выявленных проблем через указанные направления с учетом усилий государства, бизнеса и образовательного сектора, может значительно ускорить процесс роботизации в России и принести долгосрочные экономические и социальные выгоды.

## Выводы

Таким образом, в статье рассмотрены сущность роботизации производственных процессов, ее преимущества для предприятий, выявлены проблемы и вызовы в области роботизации на предприятиях России, предложены пути решения выявленных проблем. К проблемам роботизации в России были отнесены: низкий уровень оплаты труда рабочих, в результате чего роботизация в большинстве отраслей российской экономики является неэффективной; сопротивлением работников из-за возможной потери рабочих мест в результате сокращения неквалифицированных работников, повышения требований к работникам, технологическая зависимость России от импортного робототехнического оборудования, необходимость больших инвестиций в оборудование и настройку процессов. Для решения выявленных проблем предложены различные меры с учетом усилий государства, бизнеса и образовательного сектора, что может значительно ускорить процесс роботизации в России и принести долгосрочные экономические и социальные выгоды.

## ЛИТЕРАТУРА

- Банников, С.А. Мировые тренды роботизации и перспективы ее развития в России // BENEFICIUM. — 2023. — № 2(47). — С. 6–12.
- Гурлев, И.В. Цифровизация экономики России и проблемы роботизации // Вестник евразийской науки. — 2020. — Том 12. — № 4. — С. 36–38.
- Каминская, Н.В. Инновации в складской логистике // Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи. — 2023. — Т. 1, № 1. — С. 130–131.
- Корея занимает первое место в мире по плотности роботов (2023). Overclockers. — URL: <https://overclockers.ru/blog/Proxvosst/show/89529/koreya-zanimaet-pervoe-mesto-v-mire-po-plotnosti-robotov> (дата обращения: 11.12.2024).
- Мониторинг мер поддержки // Консорциум робототехники. — URL: [https://robot-control.ru/support\\_measures](https://robot-control.ru/support_measures) (дата обращения: 11.12.2024).
- Промышленная робототехника в России: рост спроса на фоне пандемии // TAdviser. — URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Промышленная\\_робототехника\\_в\\_России:\\_рост\\_спроса\\_на\\_фоне\\_пандемии?ysclid=m415e2i8tr654353314](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Промышленная_робототехника_в_России:_рост_спроса_на_фоне_пандемии?ysclid=m415e2i8tr654353314) (дата обращения: 11.12.2024).
- Разманова, С.В., Андрухова О.В. Нефтесервисные компании в рамках цифровизации экономики: оценка перспектив инновационного развития // Записки Горного института. — 2020. — № 244. — С. 482–492.
- Сергиевич, Т.В. Факторы роботизации экономики в условиях новых технологических и геоэкономических реалий // Вестник Полоцкого государственного университета. — 2023. — №1 (63). — С. 83–87.
- Шарый, С.В., Водолазская Н.В., Шарая О.А. Инновационные решения для тепличных комплексов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. — 2022. — № 3(35). — С. 109–116.
- International Federation of Robotics 2023. — URL: <https://ifr.org/> (date of application: 12.12.2024).
- Kel Guerin Top 10 Benefits of Automation with Industrial Robots // Wevolver. — URL: <https://www.wevolver.com/article/top-10-benefits-of-automation-with-industrial-robots> (date of application: 12.12.2024).
- Wennosh, Ch. What are Industrial Robots? — Types, Applications, Benefits and Future Trends! // Robots Science. — URL: <https://www.robotsscience.com/industrial/industrial-robots-types-applications-benefits-and-future/> (date of application: 12.12.2024).

# ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

## ERGONOMIC ANALYSIS OF RECOMMENDER SYSTEMS BASED ON THE COLLABORATIVE FILTERING METHOD

**B. Goryachkin  
I. Semenov**

*Summary. Problem statement.* Modern recommender systems play a crucial role in personalizing user experiences. However, one of the main challenges is selecting and evaluating methods that ensure high recommendation accuracy, fast query processing, and high performance under scalability conditions.

*Goal.* To conduct a theoretical and practical analysis of the performance of a recommender system based on the Collaborative Filtering method to evaluate its effectiveness across key metrics: accuracy, performance, and query generation time.

*Results.* An analysis of data from the MovieLens dataset was conducted, considering a 25 % random sample of ratings and movies. Theoretical values for accuracy, performance, and query generation time were calculated. Practical implementation allowed for the evaluation of deviations from theoretical predictions and the identification of factors affecting system performance. The results demonstrate that Collaborative Filtering provides high accuracy, reasonable query generation time, and acceptable performance.

*Practical significance.* The proposed approaches and calculations can be applied to further optimize recommender systems, improving their scalability and accuracy. This is particularly important for platforms dealing with large datasets and focused on enhancing the user experience.

*Keywords:* recommender systems, Collaborative Filtering, accuracy, performance, query generation time.

**Горячкин Борис Сергеевич**

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

**Семенов Илья Александрович**

Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана  
seme01nov@gmail.com

*Аннотация. Постановка проблемы.* Современные рекомендательные системы играют ключевую роль в персонализации пользовательского опыта. Однако одной из основных проблем является выбор и оценка методов, которые обеспечивают высокую точность рекомендаций, быструю обработку запросов и высокую производительность в условиях масштабируемости.

*Цель.* Провести теоретический и практический анализ работы рекомендательной системы, основанной на методе Collaborative Filtering, для определения эффективности по ключевым метрикам: точности, производительности и времени генерации запросов.

*Результаты.* Выполнен анализ данных из набора MovieLens с учётом 25 % случайной выборки оценок и фильмов. Рассчитаны теоретические показатели точности, производительности и времени генерации запросов. Практическая реализация позволила оценить отклонения от теоретических значений и выявить факторы, влияющие на производительность системы. Полученные результаты демонстрируют, что Collaborative Filtering обеспечивает высокую точность, адекватное время генерации запросов и приемлемую производительность.

*Практическая значимость.* Разработанные подходы и выполненные расчёты могут быть использованы для дальнейшей оптимизации рекомендательных систем, повышения их масштабируемости и точности. Это особенно важно для платформ, работающих с большими объёмами данных и ориентированных на улучшение пользовательского опыта.

*Ключевые слова:* рекомендательные системы, Collaborative Filtering, точность, производительность, время генерации запросов.

### Введение

**Р**екомендательная система — это программа, предоставляющая персонализированные рекомендации, прогнозируя предпочтения пользователей на основе их данных [1]. Основой работы таких систем является сбор и обработка информации о пользователях, объектах и их предпочтениях для выдачи релевантных рекомендаций. Рекомендательные системы находят применение в интернет-магазинах, стриминговых сервисах и других платформах, помогая пользователям находить релевантные материалы. Основные подходы к созданию таких систем включают контентно-ориенти-

рованную и коллаборативную фильтрацию, а также их гибридные комбинации.

Сбор данных может быть *явным*, когда пользователь сам предоставляет информацию (например, рейтинги или любимые объекты), или *неявным* — через анализ действий, таких как история просмотров и покупок. Явный сбор часто ограничивается нежеланием пользователей предоставлять данные, тогда как неявный позволяет формировать рекомендации, минимально вмешиваясь в пользовательский опыт.

Эффективность рекомендательных систем зависит не только от точности алгоритмов, но и от их эргономи-

ческих характеристик: быстродействия, прозрачности, удобства использования и адаптивности. Данная работа посвящена анализу эргономических параметров систем, включая производительность, точность и время генерации рекомендаций, на примере метода *Collaborative Filtering*.

**Collaborative filtering: метод рекомендаций**

Существует несколько подходов к созданию рекомендаций [2] (рис. 1), каждый из которых имеет свои плюсы и минусы. В данной работе рассмотрен метод коллаборативной фильтрации.

*Коллаборативная фильтрация (Collaborative filtering)* — метод рекомендаций, основанный на данных о предпочтениях пользователей, предполагающий, что схожие интересы в прошлом ведут к схожим предпочтениям в будущем. Данный метод работает с матрицей пользователь-объект, где строки — пользователи, столбцы — объекты (например, фильмы), а значения отражают оценки. На основе этой матрицы определяются схожести между пользователями или объектами, что позволяет предсказывать предпочтения.

Подходы:

*User-based*: определяет схожих пользователей по совместно оцененным объектам. Например, если два пользователя оценивали фильмы схожим образом, система рекомендует объекты, интересные одному из них, другому.

*Item-based*: фокусируется на схожести между объектами, выявляемой на основе оценок пользователей. Для вычисления применяются метрики, такие как косинусное сходство или корреляция Пирсона [5].

Оба подхода используют матрицу подобия для рекомендаций. *User-based* эффективен при активных пользователях, а *Item-based* лучше подходит для больших систем с низкой активностью пользователей.

**Выбор и определение критериев для эргономического анализа**

Для оценки эффективности и эргономических параметров рекомендательных систем выделяются три ключевых критерия: время генерации запроса, точность и производительность.

*Время генерации запроса* показывает, насколько быстро система способна обработать запрос и предоставить рекомендации. Этот параметр особенно важен для масштабируемых систем, обслуживающих большое количество пользователей, и зависит от следующих факторов:

1. *N*: общее количество пользователей, отражающее масштаб системы;
2. *F*: количество фильтров, накладываемых на выборку данных;
3. *R*: среднее количество оценок на один объект, определяющее насыщенность данных;
4. *C*: общее число объектов, доступных для рекомендаций;

Формула для расчета времени генерации (1):

$$T_{gen} = V(N, F, R, C) * \left(1 + \frac{F}{R}\right) \quad (1)$$

где  $V(N, F, R, C)$  — Базовое время обработки запроса

*Точность (Precision)* определяет долю рекомендованных объектов, которые действительно интересны пользователю, среди всех предложенных рекомендаций [9].

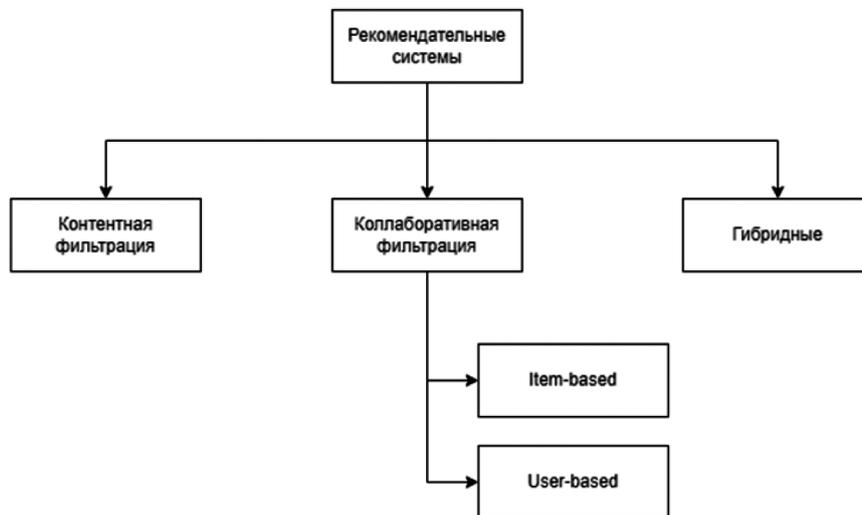


Рис. 1. Типы рекомендательных систем

Формула для расчета точности (2):

$$Precision = \frac{x}{y} \quad (2)$$

где  $x$  — количество релевантных объектов среди рекомендованных,  $y$  — общее число рекомендаций.

*Производительность* характеризует скорость, с которой система может сгенерировать и предоставить рекомендации для пользователя. Высокая производительность позволяет системе оперативно обновлять рекомендации и реагировать на изменения в интересах пользователей, улучшая взаимодействие с сервисом в реальном времени. Она рассчитывается с учетом:

1.  $Q$ : количества SQL-запросов, необходимых для обработки данных;
2.  $T_{gen}$ : времени генерации рекомендаций;
3.  $R$ : количества оценок для объектов;
4.  $C$ : количества объектов, доступных для рекомендаций;
5.  $F$ : числа фильтров, наложенных на выборку данных.

Формула производительности (3):

$$P = \frac{Q * C}{T_{gen} * (F + R)} \quad (3)$$

**Аналитическая модель и практическая реализация рекомендательной системы**

Проведём расчёты для рекомендательной системы *Collaborative Filtering*, оценивая ее производительность, точность и время генерации рекомендаций. Эти аспекты важны для определения эффективности системы:

Для анализа использовался датасет MovieLens, из него для проведения оценки было выделено случайное множество данных размером 25 % от общего объема. В тестовую выборку вошли 25 001 оценка, что позволило объективно оценить качество построенных моделей.

В результате мы получаем следующие значения (табл. 1):

Таблица 1.

Результаты теоретического расчёта

Аспект	Значения
Производительность	$4.44 \times 10^7$ операций/сек
Точность	0.83
Время генерации	$2.21 \times 10^{-5}$ сек

Метод *Collaborative Filtering* демонстрирует отличные результаты по производительности. Это объясняется вы-

сокой оптимизацией работы алгоритма даже в условиях разреженности данных.

Метрика точности также находится на высоком уровне, что подтверждает релевантность предоставляемых рекомендаций.

Наилучший показатель — это производительность, что делает данный метод подходящим для использования в системах с большим объёмом запросов и необходимостью их обработки в реальном времени.

Для реализации рекомендательных систем в данной работе был выбран язык программирования Python, который является одним из лидеров в области аналитики данных и разработки моделей машинного обучения. Python также обеспечивает удобство масштабирования проектов: от прототипирования небольших моделей до развертывания сложных систем с использованием облачных сервисов и фреймворков для работы с большими данными.

Реализация метрик:

*Метрика Precision (Точность)*: для расчета Precision был разработан метод *precision* (predictions, k=10, threshold=3.5), принимающий:

- *predictions* — таблицу с предсказанными и реальными оценками (столбцы: *userId*, *movieId*, *true\_r*, *pred\_r*).
- *k* — количество рекомендаций, учитываемых для каждого пользователя.
- *threshold* — порог релевантности (объекты с оценкой  $\geq 3.5$  считаются релевантными).

Особенности:

Ограничение по количеству рекомендаций ( $k$ ): Precision вычисляется только для топ- $k$  рекомендаций, чтобы оценка соответствовала реальным условиям.

Порог релевантности (*threshold*): Объекты с рейтингом  $\geq 3.5$  считаются релевантными (при максимальной оценке 5).

Принцип работы:

1. Выбираются топ- $k$  рекомендаций для каждого пользователя.
2. Подсчитывается число релевантных объектов.
3. Средние значения Precision вычисляются по всем пользователям.

*Производительность системы*: определяется скоростью генерации рекомендаций для каждого пользователя. Для этого был создан метод *evaluate\_performance* который реализовывается следующим образом:

**Сбор данных:**

Нужно собрать все необходимые данные, которые влияют на производительность, например, количество пользователей, фильмов и фильтров.

**Вычисления для каждого запроса:**

Для оценки производительности система должна подсчитать время, которое требуется для вычисления рекомендаций для каждого пользователя. Этот процесс будет включать в себя все операции фильтрации, сортировки и вычислений.

**Методика оценки производительности:**

1. Определение общего времени, которое требуется для генерации рекомендаций для всех пользователей (или для случайной выборки пользователей).
2. Выполнение расчета как среднего времени для одного запроса.

*Время генерации запроса:* Для расчета времени генерации запроса был создан метод `calculate_time_to_generate_reques`, который замеряет время, которое система затрачивает на обработку одного запроса на рекомендации (от его получения до предоставления результатов).

**Время начала:** Замеряется время на начало обработки запроса.

**Время конца:** Замеряется время после того, как система завершила обработку запроса и вернула результаты.

**Методика оценки времени генерации:**

1. Каждый запрос оценивается по времени его генерации (по времени от получения запроса до отправки результатов).
2. Этот процесс можно повторить для нескольких запросов, чтобы получить усреднённые данные.

Результаты работы рекомендательной системы были объединены в таблицу ниже (табл. 2):

Таблица 2.

**Результаты практических расчёта**

Аспект	Значения
Производительность	1,2 операций/сек
Точность	0.87
Время генерации	4,8 сек

*Точность (Precision):* Система Collaborative Filtering продемонстрировала значение точности на уровне 0.87, что указывает на высокую способность предсказать ре-

levantные объекты для пользователей. Это означает, что система часто предлагала актуальные фильмы, соответствующие интересам пользователей. Точность модели высока, так как она эффективно фильтрует рекомендации, ориентируясь на предпочтения пользователей.

*Производительность:* Производительность системы составила 1.2 операций в секунду на генерацию рекомендаций для каждого запроса. Это значение достаточно хорошее для рекомендательных систем, обслуживающих большое количество пользователей, так как время отклика остаётся на приемлемом уровне.

*Время генерации запроса:* Среднее время генерации запроса составило 4.8 секунды, что является довольно хорошим результатом для масштабируемой рекомендательной системы. Хотя время может варьироваться в зависимости от сложности запроса, система всё равно обеспечивает достаточно быструю генерацию рекомендаций.

**Оценка полученных результатов**

Были произведены теоретические расчёты, сравним их с практическими результатами для оценки их рентабельности и эффективности в реальных условиях. В теоретических расчётах мы использовали идеализированные данные и предположения о том, как будет вести себя система при различных условиях, что позволило получить максимальные значения для производительности и времени генерации запроса. Однако в реальности системы сталкиваются с более сложными задачами, такими как разреженность данных, большое количество пользователей и объектов, а также влияние внешних факторов, таких как нагрузка на сервер и сложность запросов.

Результаты сравнения теоретических и практических расчетов были внесены в таблицу ниже (табл. 3):

Таблица 3.

**Сравнение результатов**

Аспект	Теория	Практика
Производительность	1,2 операций/сек	$4.44 \times 10^7$ операций/сек
Точность	0.87	0.83
Время генерации	4,8 сек	$2.21 \times 10^{-5}$ сек

Сравнив теоретические и практические результаты, можно отметить значительные расхождения. Например, время генерации запроса в теории составило 0.0000221 секунды, а на практике — 4.8 секунды, это различие можно объяснить тем, что теоретическая модель не учитывает всех факторов, влияющих на работу системы в реальных условиях, таких как сетевые задержки, особенности распределённых вычислений или наличие разрознен-

ных данных. Производительность в теории ( $4.44 \times 10^7$  операций/сек) также отличается от практического результата (1.2 секунды на генерацию рекомендации), что объясняется ограниченными вычислительными ресурсами и сложностью алгоритмов. Точность (Precision) в теории составила 0.83, а на практике — 0.87, что подтверждает высокие результаты реальной системы.

На основании полученных результатов можно сделать следующий вывод: для сравнения рекомендательных систем точность (Precision) является наиболее релевантной. Теоретические и практические результаты совпали именно для этой метрики, что подтверждает её надёжность и применимость для оценки качества рекомендаций. Precision напрямую отражает способность системы предсказывать релевантные объекты для пользователей, что делает её ключевым параметром для анализа эффективности рекомендательных алгоритмов.

### Заключение

В ходе данной научной работы были проведены теоретические и практические расчёты для оценки рекомендательной системы на основе метода Collaborative Filtering. Были рассмотрены ключевые метрики, такие как точность (Precision), производительность и время генерации запроса, которые являются важными для оценки эффективности системы.

Точность (Precision) показала высокие результаты как в теоретических расчётах, так и на практике, что под-

тверждает способность метода точно рекомендовать релевантные объекты. Производительность и время генерации запроса в реальных условиях оказались удовлетворительными, хотя время отклика в теории было значительно ниже.

Различия в результатах между теоретическими и практическими измерениями могут быть объяснены несколькими факторами. Во-первых, теоретические расчёты часто предполагают идеализированные условия, не учитывающие реальные ограничения системы, такие как сетевые задержки, ограничения по вычислительным ресурсам и специфику распределённых вычислений. Во-вторых, в теории учитывается только базовое время обработки данных, без учёта внешних факторов, таких как сложность запросов, количество фильтров и объём данных, которые могут значительно повлиять на время генерации. В реальных условиях также возможны дополнительные накладные расходы на обработку запросов и хранение данных, что приводит к увеличению времени отклика.

Тем не менее, несмотря на различия в теоретических и реальных результатах, система Collaborative Filtering показала хорошую производительность и точность, что подтверждает её эффективность в рекомендациях. Точность (Precision) была признана основной метрикой для оценки рекомендательных систем, так как она напрямую влияет на удовлетворённость пользователей и их потребности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ricci F., Rokach L., Shapira B. Introduction to recommender systems handbook //Recommender systems handbook. — Springer US, 2011. — С. 1–35.
2. Melville P., Sindhvani V. Recommender systems //Encyclopedia of machine learning. — Springer US, 2011. — С. 829–838.
3. Burke R. Recommender Systems: An Introduction, by Dietmar Jannach, Markus Zanker, Alexander Felfernig, and Gerhard Friedrich: Cambridge University Press, 2011. 336 pages. ISBN: 978-0-521-49336-9. — 2012.
4. Shani G., Gunawardana A. Evaluating recommendation systems //Recommender systems handbook. — Springer, Boston, MA, 2011. — С. 257–297.
5. Sarwar B. et al. Item-based collaborative filtering recommendation algorithms //Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web. — ACM, 2001. — С. 285–295.
6. Amatriain X. et al. Data mining methods for recommender systems //Recommender Systems Handbook. — 2010. — С. 257–297.
7. Adomavicius G., Tuzhilin A. Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions //IEEE transactions on knowledge and data engineering. — 2005. — Т. 17. — №. 6. — С. 734–749.
8. Takács G. et al. Scalable collaborative filtering approaches for large recommender systems //Journal of machine learning research. — 2009. — Т. 10. — №. Mar. — С. 623–656.
9. Gunawardana A., Shani G. A survey of accuracy evaluation metrics of recommendation tasks //Journal of Machine Learning Research. — 2009. — Т. 10. — №. Dec. — С. 2935–2962.
10. Poirier D., Fessant F., Tellier I. Reducing the cold-start problem in content recommendation through opinion classification //Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 2010 IEEE/WIC/ACM International Conference on. — IEEE, 2010. — Т. 1. — С. 204–207.
11. Resnick P., Varian H. R. Recommender systems //Communications of the ACM. — 1997. — Т. 40. — №. 3. — С. 56–58.
12. Королева Д.Е., Филиппов М.В. Анализ алгоритмов обучения коллаборативных рекомендательных систем //Инженерный журнал: наука и инновации. — 2013. — №. 6. — С. 23–23.

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru); Семенов Илья Александрович (seme01nov@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ СЦЕНАРИЯ АТАКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА КЛАССА МИКРО И МИНИ НА АЭРОДРОМЫ БАЗИРОВАНИЯ АВИАЦИИ

## MAIN STAGES OF CONSTRUCTING A SCENARIO FOR AN ATTACK BY AN UNMANNED AERIAL VEHICLE OF THE MICRO AND MINI CLASS ON AVIATION AIRFIELDS

*D. Gushchina*

*Summary.* The article presents the main models of unmanned aerial vehicles of the mini and micro categories, which are most often used to carry out attacks. The key features in constructing a flight route for an unmanned aerial vehicle of the mini and micro categories are considered. The main rules for forming an attack route for an unmanned aerial vehicle of the mini and micro categories are defined. The main options for carrying out an attack by unmanned aerial vehicles of the mini and micro categories are considered. An example of the difference in the movement of unmanned aerial vehicles of the airplane type and quadcopter type is given. An algorithm for creating a scenario for attacking mini and micro unmanned aerial vehicles on an airfield where aviation is based is proposed to form reference flight trajectories for the unmanned aerial vehicle. A variant of using this algorithm for further research in the field of constructing and evaluating an airfield defense system where aviation is based is proposed.

*Keywords:* unmanned aerial vehicle, attack routes, unmanned aerial vehicle, unmanned aerial vehicle trajectory, attack scenario, attack construction algorithm.

*Гущина Дарья Андреевна*

*Аспирант, ФГБОУ ВО «Технологический университет»*

*им. А.А. Леонова*

*dagushchina.96@bk.ru*

*Аннотация.* Представлены основные модели беспилотных летательных аппаратов категории мини и микро, которые наиболее часто используют для совершения атаки. Рассмотрены ключевые особенности при построении маршрута полёта беспилотного летательного аппарата категории мини и микро. Определены основные правила формирования маршрута атаки беспилотного летательного аппарата категории мини и микро. Рассмотрены основные варианты проведения атаки беспилотных летательных аппаратов категории мини и микро. Приведён пример различия движения беспилотных летательных аппаратов самолётного типа и квадрокоптерного типа. Предложен алгоритм создания сценария атаки беспилотных летательных аппаратов категории мини и микро на аэродром базирования авиации для формирования эталонных траекторий полёта беспилотника. Предложен вариант использования данного алгоритма для дальнейших исследований в области построения и оценки системы защиты аэродрома базирования авиации.

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат, маршруты атаки, беспилотник, траектория движения беспилотника, сценарий налёта, алгоритм построения атаки.

**В** настоящее время вопрос защиты важных инфраструктурных объектов от атак беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) весьма актуален. В ходе проведения специальной военной операции на Украине случаи проведения атак с использованием БПЛА с каждым днём учащаются [1]. Одними из основных объектов атаки являются аэродромы базирования авиации Воздушно-космических сил. Для построения надёжной и эффективной системы защиты аэродрома необходимо смоделировать атаки БПЛА класса мини и микро.

На сегодняшний день существует множество классификаций БПЛА по различным параметрам. В данной статье рассматривается универсальная классификацию беспилотных летательных аппаратов. Эта классификация предложена международной ассоциацией по беспилотным системам AUVSI (Association for Unmanned

VehicleSystem Internecinal) [2]. Конкретные параметры малоразмерных БПЛА представлены в таблице 1.

Приведённая классификация распространяется как на уже существующие, так и на перспективные разрабатываемые беспилотные летательные аппараты. В этих категориях встречаются аппараты с самыми различными принципами полёта: как самолётного, так и вертолётного типов, а также квадрокоптерного типа или их комбинации.

Проведённый анализ атак позволяет выделить несколько БПЛА классов мини и микро, которые целесообразно рассматривать в качестве типовых целей. К наиболее популярным моделям данного класса можно отнести: DJI Mavic Pro; «Autel-3 Pro»; «Лелека-100»; «Бобер»; А1 — С «Фурия»; «Mugin»; «Вампир»; «Баба Яга».

Таблица 1.

Универсальная классификация малоразмерных БПЛА по летным параметрам

Группа	Категория	Взлётная масса, кг	Дальность полёта, км	Высота полёта, м	Продолжительность полёта, ч
Малые БПЛА	Нано-БПЛА	<0,025	<1	100	<1
	Микро-БПЛА	<5	<10	250	<1
	Мини-БПЛА	1...150	<10	150...300	<2

По конструкции и способу применения БПЛА малого класса могут быть разделены на три типа:

1. БПЛА самолетного типа. Взлет, как правило, производится с применением пусковой установки (катапульты) или «с руки», а посадка чаще всего осуществляется «по самолётному» или на парашюте.
2. БПЛА вертолетного (коптерного) типа. Используют вертикальные взлет и посадку, с применением небольшой взлетной площадки или «с руки» (при отсутствии площадки). Взлет и посадка осуществляются преимущественно в автоматическом режиме по команде с пульта управления.
3. При использовании гибридной схемы (VTOL) взлёт и посадка осуществляется вертикально, а полёт по маршруту — как самолёт [3].

При моделировании ситуации совершения атаки малоразмерных БПЛА будем рассматривать три возможных варианта: одиночный удар, групповой удар, массированный удар [4].

При совершении одиночного удара противник применяет 1 или 2 БПЛА нанося атаки по очереди. Такой спо-

соб используют при отсутствии возможности нанести более мощный удар, а также когда существует необходимость преодолеть различные средства противодействия, для корректировки маршрута или уточнения цели.

При групповом ударе БПЛА противник применяет несколько БПЛА одновременно, которые пытаются нанести скоординированный удар по заданной цели. В таком случае возрастает возможность поражения цели за счёт большего количества участвующих дронов.

При массированном ударе задействованы десятки БПЛА, выполняющих задачи постановки помех, разведки и собственно нанесения удара. Такая атака, как правило, имеет плотность налёта, которая превышает возможности противовоздушной обороны, что значительно увеличивает шансы поражения цели.

Исходя из проведённого анализа, в общем виде можно выделить три варианта построения маршрута: совершение атаки с возможностью возвращения в точку запуска, самостоятельный поиск цели поражения, а также совершение атаки по заранее известным координатам.

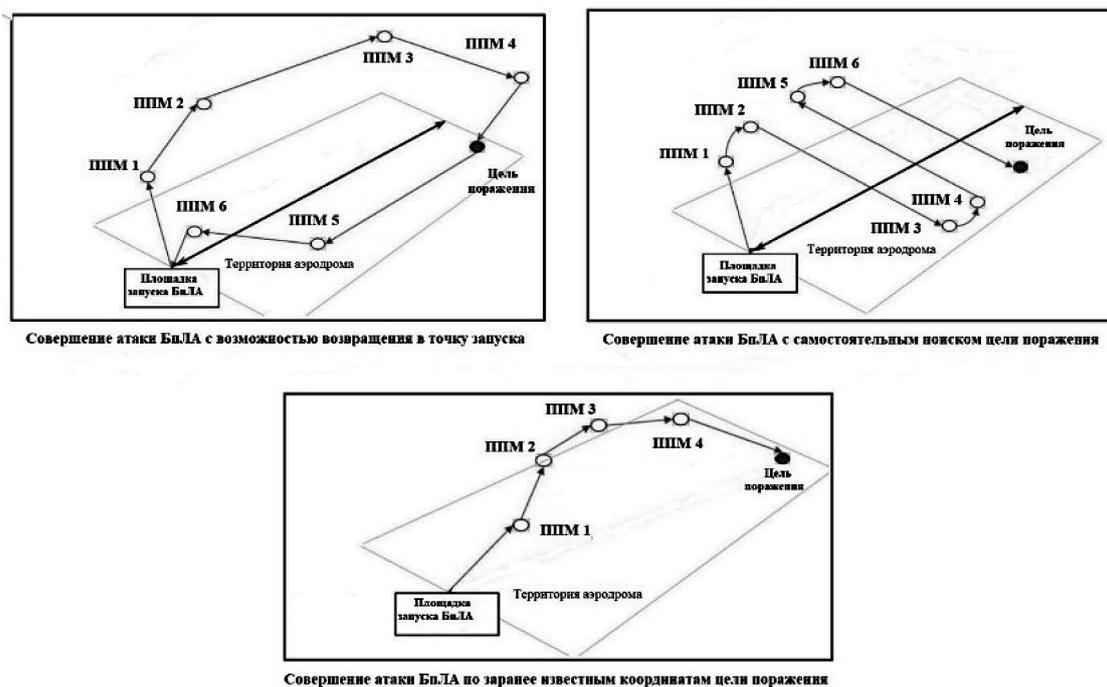


Рис. 1. Варианты построения маршрута полёта БПЛА

Данные варианты построения маршрута изображены на рисунке 1.

При построении сценария совершения атаки следует учитывать конструктивные особенности БПЛА и их тактико-технические характеристики (ТТХ) для построения оптимального маршрута атаки. Для этого следует следовать следующим правилам:

1. В качестве поворотных точек рекомендуется применять характерные ориентиры, хорошо распознаваемые в полете (изгибы рек, перекресток дорог, одиночные здания и прочее).
2. Первая поворотная пункт маршрута (ППМ) устанавливается рядом с точкой старта.
3. Маршрут не должен проходить рядом с районами активных действий средств противовоздушной обороны, способных поразить БПЛА, районами действий средств радиотехнической разведки, влияющих на работу БПЛА, возле линий электропередач большой мощности и других объектов с большим уровнем электромагнитных излучений.
4. При расчете времени полета БПЛА, используем показатели крейсерской или средней скорости,

учитываем, что БПЛА гарантированно проходит расстояние 2/3 от максимального значения согласно данным ТТХ.

5. Исходя из особенности применения БПЛА рассчитываем возможность возврата к месту запуска, или зависание в воздухе при совершении сброса боезаряда.

Следуя данным правилам, можно составить различные сценарии атаки БПЛА на аэродром базирования авиации. Спрогнозировав возможные маршруты, можно скорректировать систему противодействия атакам БПЛА категории мини и микро, для повышения уровня защиты аэродрома.

Алгоритм формирования сценария атаки БПЛА на аэродроме базирования авиации ВКС представлен на рисунке 2.

При построении маршрута атаки, необходимо учитывать конструктивные особенности используемого БПЛА. Дроны коптерного типа могут совершать разворот под любыми углами, в то время как самолётного по дуге

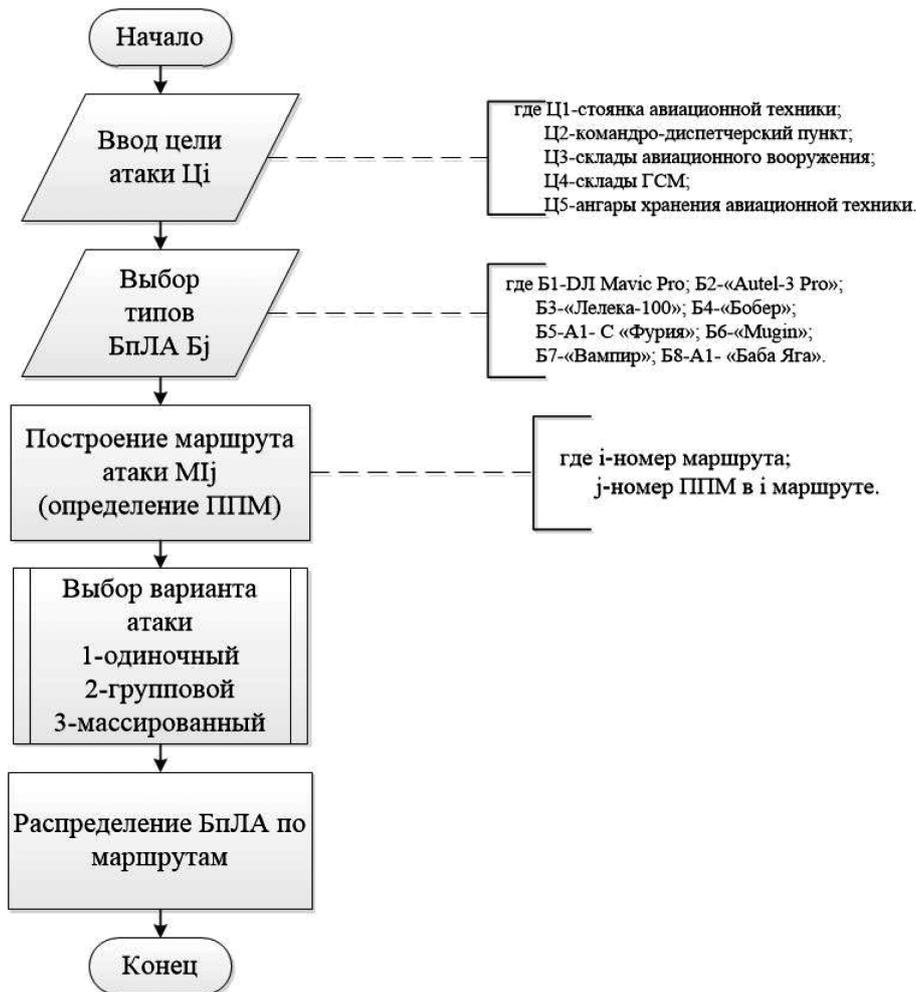


Рис. 2. Алгоритм формирования сценария атаки БПЛА

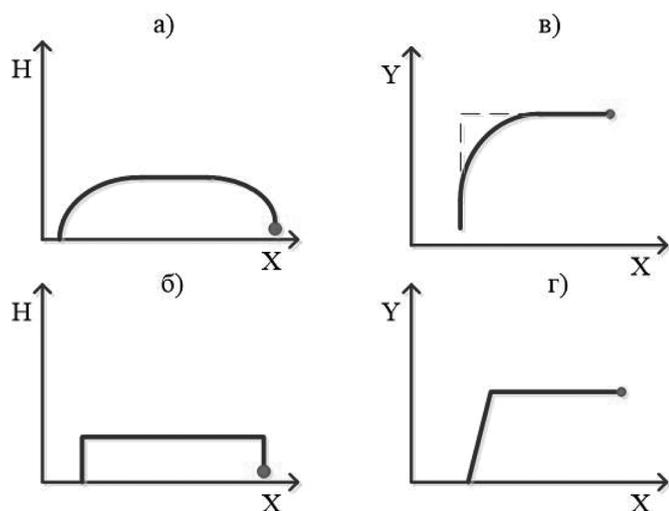


Рис. 3. Графики прокладки маршрута относительно высоты и плоскости (а — полёт БПЛА самолетного типа к цели, изменения по высоте; б — полёт БПЛА коптерного типа к цели, изменения по высоте; в — полёт БПЛА самолетного типа, изменения маршрута на плоскости; г — полёт БПЛА коптерного типа, изменения маршрута на плоскости)

окружности с учётом радиуса разворота. Поворотный пункт маршрута в этом случае делится на 2 точки: точки начала разворота и его окончания. Для определения и нанесения точки начала разворота на карту рассчитывают линейное упреждение разворота (ЛУР) по формуле [5]:

$$\text{ЛУР} = Rtg \frac{\text{УР}}{2},$$

где  $R$  — радиус разворота летательного аппарата;  $\text{УР}$  — угол разворота.

Для наглядного представления разницы полёта беспилотников самолётного и коптерного типов, представлены графики прокладки маршрута относительно высоты и плоскости (Рисунок 3).

Маршруты полёта задаются к заранее определённым целям. По одному маршруту могут следовать несколько БПЛА в зависимости от их количества, с разницей по времени.

Таким образом, данный алгоритм позволит создать различные сценарии атаки БПЛА класса мини и микро на аэродром базирования авиации. Эти сценарии будут использованы в математической модели оценки уровня защиты аэродрома от атак вражеских дронов. Проведя достаточное количество вычислительных экспериментов, можно выработать рекомендации по построению системы защиты, основной порядок действий при отражении атаки беспилотных летательных аппаратов категории мини и микро.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Ламова. Ударная волна. Украинские дроны атаковали объекты в семи регионах России / Е. Ламова, А. Антипова, С. Прохорова, А. Велина. — Текст: электронный // Газета РБК. — 2023. ГАЗЕТА № 091 (3761) (3108) — URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2023/08/31/64e5fe5e9a7947958ce0f656> (дата обращения: 12.10.2023).
2. Клименко В.М. Беспилотные летательные аппараты военного назначения: монография, ч.1 — /В.М. Клименко, В.А. Аладинский, С.В. Богдановский, В.С. Ромашов. — Череповец: РИО ВВИУРЭ, 2019. — 613 с.
3. А. Бойко. Беспилотники вертикального взлета и посадки (VTOL) — Основные конструкции беспилотников. Текст: электронный // RoboTrends — URL: <https://robotrends.ru/robopedia/bespilotniki-vertikalnogo-vzleta-i-posadki> (дата обращения: 23.10.2024).
4. Гущина Д.А. Кузьменков В.Ю. Вероятная тактика и особенности применения БЛА по аэродромам базирования ВКС. Текст: электронный / Сборник научных статей по материалам III Всероссийского форума «Перспективы развития видов обеспечения Военно-воздушных сил». Поиск путей повышения эффективности непосредственного прикрытия и наземной обороны аэродромов базирования авиации. — Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2024 — диск дсп уч.номер 10327 — 1 электрон.опт.диск (CD-ROM), 31–36 с.
5. Кормашов В.А. Навигационная счетная линейка Нл-10м (Пособие для летного состава). М.: Военное издательство МО СССР, 1956, 95 с.

© Гущина Дарья Андреевна (dagushchina.96@bk.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АКТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ НАМЕРЕНИЙ В КОНТЕКСТНОМ ОБУЧЕНИИ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

## ACTIVE LEARNING FOR INTENT CLASSIFICATION IN IN-CONTEXT LEARNING OF LARGE LANGUAGE MODELS

*D. Dranga*

*Summary.* In modern natural language processing, large language models have demonstrated high effectiveness across various tasks, including intent classification in dialogue systems. However, selecting the optimal set of examples for contextual learning remains challenging, especially with a limited annotation budget. This paper proposes an adapted active learning algorithm for the efficient selection of examples in contextual few-shot learning of large language models for intent classification tasks. The proposed method takes model uncertainty into account and ensures diversity in the selected examples, thereby enhancing classification accuracy. Experimental studies on three different datasets have shown that the developed approach outperforms alternative methods, providing higher classification quality for both closed models (e.g., GPT-4) and open models that perform well in Russian (e.g., Gemma 2 27b).

*Keywords:* active learning, contextual learning, large language models, intent classification, few-shot learning, uncertainty estimation.

*Дранга Даниил Игоревич*

*Национальный исследовательский технологический университет МИСиС, Москва, Российская Федерация  
dranga.daniil@gmail.com*

*Аннотация.* В современной обработке естественного языка большие языковые модели продемонстрировали высокую эффективность в различных задачах, включая классификацию намерений пользователя в диалоговых системах. Однако выбор оптимального набора примеров для контекстного обучения остается вызовом, особенно при ограниченном бюджете на разметку данных. В данной работе предлагается адаптированный алгоритм активного обучения для эффективного подбора примеров в контекстном обучении больших языковых моделей для задачи классификации намерений. Предложенный метод учитывает неопределенность модели и обеспечивает разнообразие выбранных примеров, способствуя улучшению точности классификации. Экспериментальные исследования показали, что разработанный подход превосходит альтернативные методы, обеспечивая более высокое качество классификации как для закрытых моделей (например, GPT-4), так и для открытых моделей, демонстрирующих хорошие результаты на русском языке (например, Gemma 2 27b).

*Ключевые слова:* активное обучение, контекстное обучение, большие языковые модели, классификация намерений, few-shot обучение, оценка неопределенности.

### Введение

Диалоговые системы и виртуальные помощники, предоставляющие взаимодействие на естественном языке, стали неотъемлемой частью жизни. Ключевая задача в их разработке — классификация намерений пользователя по его сообщениям, что напрямую влияет на качество систем и удовлетворенность пользователей.

С появлением больших языковых моделей (BERT [1], GPT-3 [2], PaLM [3] и др.) произошел значительный прогресс в обработке естественного языка. Эти модели решают задачи генерации текста, перевода и понимания контекста, часто превосходя предыдущие подходы. Перспективной методикой их использования является контекстное обучение (in-context learning) [2], где модель генерирует ответы, опираясь на несколько примеров без явного обучения.

Контекстное обучение актуально при ограниченном количестве размеченных данных или необходимости быстрой адаптации модели без переобучения. Однако его эффективность зависит от выбора контекстных при-

меров [4]. В задачах с множеством классов, как классификация намерений, критичен выбор наиболее информативных примеров [5].

Активное обучение [6] оптимизирует сбор размеченных данных, отбирая наиболее информативные для модели примеры, и успешно применяется в областях: компьютерное зрение [7], обработка естественного языка [8], системы рекомендаций [9]. Однако его интеграция в контекстное обучение с большими языковыми моделями малоизучена [10].

Мы предлагаем гибридный алгоритм, сочетающий активное и безнадзорное обучение для оптимизации выбора примеров в контекстном обучении больших языковых моделей при классификации намерений. Алгоритм учитывает особенности контекстного обучения и интегрирует оценку неопределенности модели, повышая эффективность использования ограниченного бюджета разметки данных.

Некоторые исследования улучшают контекстное обучение оптимизацией выбора примеров. В [11] рассматриваются принципы активного обучения в этом кон-

тексте, оцениваются стратегии выборки данных. В [12] анализируются zero-shot и few-shot техники для классификации намерений. Однако эти подходы не учитывают специфику выбора примеров при ограниченном бюджете разметки и не интегрируют оценку неопределенности модели.

Наш подход комбинирует кластеризацию данных для учета их структуры и активное обучение с оценкой неопределенности модели для отбора информативных примеров. Подобные идеи были в [13] с методом ActiveLLM для активного обучения больших языковых моделей, но без фокуса на классификации намерений и специфики выбора примеров в контексте.

Цель работы — продемонстрировать эффективность предложенного алгоритма на реальных данных и сравнить с современными методами, включая большие языковые модели в zero-shot и few-shot режимах. Мы рассматриваем GPT-4 [14] и Gemma 2 27b [15], показывающие хорошие результаты на русском языке, и анализируем их производительность в сравнении с нашим подходом.

**Основная часть**

*Контекстное обучение и классификация намерений*

Контекстное обучение (in-context learning) [2] представляет собой подход, при котором большая языковая модель способна выполнять новую задачу, опираясь на несколько примеров (контекст), предоставленных в виде входных данных, без явного обновления весов модели. Это особенно полезно в тех ситуациях, когда обучение или дообучение модели на новых данных затруднительно или нежелательно.

В задаче классификации намерений цель состоит в том, чтобы на основании текстового сообщения пользователя определить его намерение из заданного на-

бора классов. Пусть имеется множество классов  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_c\}$  и набор неразмеченных пользовательских сообщений  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ . Требуется выбрать небольшое подмножество размеченных примеров  $L = \{(x_i, y_i)\}$ , которое будет использоваться в контексте для контекстного обучения модели для максимизации качества классификации.

*Активное обучение для выбора примеров*

Активное обучение [6] направлено на эффективный отбор наиболее информативных для модели примеров при ограниченном бюджете на разметку. Традиционные стратегии активного обучения включают отбор примеров с максимальной неопределенностью модели [16], использование кластеризации для представления структуры данных [17], а также методы, учитывающие разнообразие и репрезентативность выбранных примеров [18]. Рисунок 1 иллюстрирует процесс активного обучения с отбором объектов из выборки.

В задаче контекстного обучения с большими языковыми моделями выбор примеров приобретает особую значимость, поскольку количество примеров в контексте ограничено (обычно от 1 до 50), и от их качества зависит способность модели правильно обобщать на новые данные [4]. Кроме того, необходимо учитывать, что не все примеры оказывают одинаковое влияние на модель, и выбор нерепрезентативных или избыточных примеров может снизить эффективность контекстного обучения [19]. Активный отбор примеров для контекстного обучения можно рассматривать как задачу активного обучения объектов из выборки с одной итерацией, представлено на Рисунке 2.

Для классификации тестового примера алгоритм отбирает из размеченных данных наиболее релевантные примеры, которые используются в качестве контекста в затравке (prompt) для обучения модели. Эти примеры, включенные в контекст, позволяют языковой модели

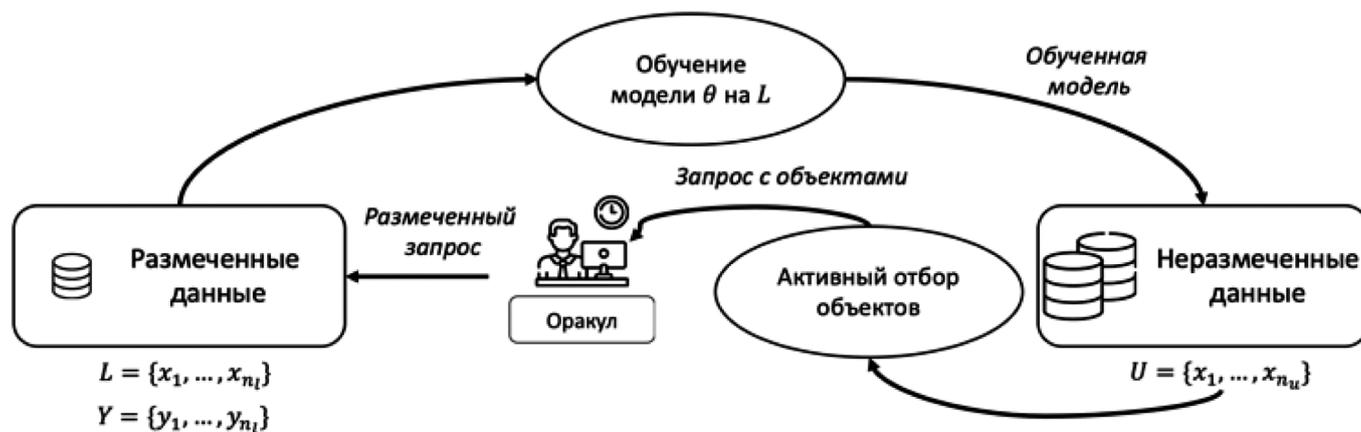


Рис. 1. Схема работы активного обучения



Рис. 2. Активное контекстное обучение с одной итерацией

предсказывать класс тестового примера на основе предоставленного окружения. Качество отобранных примеров существенно влияет на точность классификации и общее качество работы модели.

Для эффективного активного обучения важно уметь оценивать неопределенность модели в отношении неразмеченных примеров. Оценка неопределенности позволяет выбирать примеры, по которым модель «сомневается» больше всего, тем самым повышая прирост знаний при разметке этих примеров [16]. Оценка неопределенности в контекстном обучении измеряется через перплексию, которая отражает уверенность модели в предсказании текста без меток. Перплексия рассчитывается как экспонента средней логарифмической вероятности токенов последовательности, включая ввод, но без метки, предсказанных моделью [20].

*Постановка задачи*

В задаче классификации намерений с использованием больших языковых моделей важно не только точное определение намерений, но и оптимальный выбор контекста для контекстного обучения. Этот подход предполагает, что модель получает несколько примеров, релевантных тестовому примеру, что помогает ей обобщать на новые данные без изменения своих параметров. Цель — выбрать небольшое подмножество наиболее значимых и репрезентативных примеров из размеченной выборки  $L$  для улучшения классификации намерений в тестовом примере.

Пусть имеется:

- Множество классов  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_C\}$ , где каждый класс соответствует определённому намерению пользователя.
- Набор неразмеченных сообщений пользователей  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ , которые модель должна уметь классифицировать.
- Размеченное множество  $L = \{(x_i, y_i) \mid x_i \in R^{EMB\_DIM}, y_i \in Y\}$ , содержащее пары «сообщение–намерение», где  $x_i$  — векторное представление сообщения.

В задаче контекстного обучения необходимо выбрать небольшое подмножество  $S \subset L$ , состоящее из  $K$  примеров, которые будут представлены модели в качестве контекста для классификации нового тестового примера  $x_{test}$ . Это подмножество должно быть таким, чтобы оно максимально способствовало правильной классификации намерений для  $x_{test}$ , учитывая, что размер контекста ограничен.

**Особенности задачи:**

- **Ограничение на размер контекста:** Основное ограничение — количество примеров  $K$  в контексте; бюджет разметки не ограничен, так как выбор идёт из уже размеченной выборки.
- **Релевантность к тестовому примеру:** Примеры в контексте должны быть релевантны  $x_{test}$ . Учитывается семантическая близость между примерами в  $L$  и  $x_{test}$ .
- **Оценка неопределённости модели:** Для повышения эффективности отбора оценивается степень неопределённости модели по каждому примеру.

Таким образом, задача активного выбора примеров для контекстного обучения направлена на формирование оптимального подмножества  $S$  из  $L$ , позволяющего модели эффективно обобщать на  $x_{test}$  и минимизировать ошибки в классификации намерений.

*Предлагаемый подход*

В статье предлагается гибридный итеративный метод активного обучения для задачи классификации намерений с использованием больших языковых моделей. Полный алгоритм был предложен в работе 24. В текущей постановке метод адаптирован для задачи выбора контекстных примеров (in-context examples), где целью является подбор  $K$  примеров из размеченной выборки, которые обеспечат максимальное качество классификации для модели в контексте обучения на тестовом примере.

**Алгоритм состоит из нескольких этапов:**

1. **Инициализация:** задаются параметры алгоритма — область поиска для кластеризации ( $\epsilon$ ), минимальное число объектов для кластеров ( $\text{minPts}$ ), порог сходства ( $\text{Sim}$ ), количество отбираемых примеров  $K$  и тестовый пример ( $\text{test\_example}$ ). Эти параметры устанавливают начальные условия и настраивают процесс кластеризации.
  2. **Кластеризация данных:** применяется алгоритм DBSCAN к размеченной выборке для выявления семантически связанных групп объектов, исключая шумовые данные. Если значимые кластеры не обнаружены, параметры  $\epsilon$  и  $\text{minPts}$  корректируются для учета менее плотных областей данных.
  3. **Оценка значимости кластеров:** для каждого кластера вычисляются три метрики:
    - Степень неуверенности модели для объектов кластера (энтропия классификации).
    - Расстояние до тестового примера (косинусное сходство векторов).
    - Размер кластера (число объектов).
- Метрики нормализуются и преобразуются в ранги; итоговый рейтинг кластера рассчитывается как среднее этих рангов.
4. **Отбор ключевых точек:** из кластеров с высоким рейтингом отбираются ключевые точки, наиболее релевантные тестовому примеру. Они ранжируются по значимости, и для каждой вычисляется сходство с тестовым примером. Выбираются  $K$  объектов с наибольшей семантической близостью, формируя динамический контекст, оптимизированный под конкретный пример.
  5. **Обучение модели:** выбранный контекст используется для дообучения модели на размеченной выборке, что позволяет модели адаптироваться к текущему тестовому примеру и точнее его интерпретировать.

В отличие от исходной задачи с ограничением бюджета аннотаций, здесь цель — динамически подобрать  $K$  наиболее значимых примеров для формирования контекста, улучшая классификацию намерений для каждого тестового примера.

*Результаты экспериментов*

Эффективность предлагаемого алгоритма оценивалась на датасете MASSIVE Intent, содержащем более 1 миллиона запросов с аннотациями намерений на 51 языке, включая русский. Этот набор данных предоставляет разнообразные задачи по пониманию естественного языка, позволяя моделям оценивать производительность в условиях многоязычия и различных сценариев.

В исследовании использовались две современные модели: **GPT-4** и **Gemma 2 27B**.

Для подготовки данных были получены эмбединги всех неразмеченных примеров с помощью модели MUSE (Lample et al., 2017), предоставляющей многоязычные векторные представления текстовых данных.

Задача исследования — классификация намерений в пользовательских запросах. Для оценки качества использовались метрики:

- **Точность классификации намерений.**
- **Макро F1-мера**, учитывающая несбалансированность классов.

Эксперименты проводились с различным количеством контекстных примеров ( $k = 10, 30, 100$ ) для оценки влияния объёма контекста на производительность классификации.

Использовались следующие методы выбора контекстных примеров:

- **Zero-shot:** модель без предоставления примеров.
- **Случайный выбор:** случайные  $k$  примеров из размеченного пула.
- **Отбор по неуверенности:** выбор наиболее неопределённых примеров по энтропии модели.
- **Предлагаемый алгоритм:** гибридный подход, учитывающий неопределённость и структуру данных.

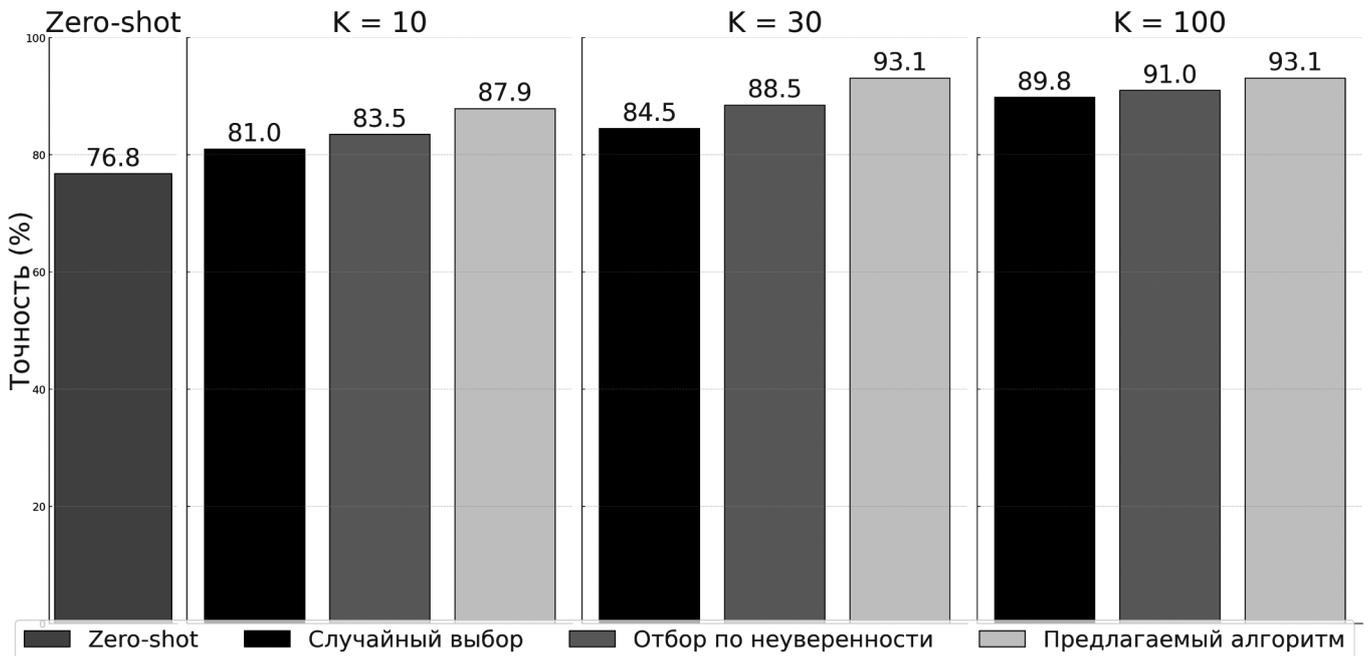
Параметры экспериментов включали значения  $k$ : 10, 30, 100. Всего проведено 72 эксперимента, учитывая комбинации 2 моделей, 3 датасетов, 4 методов выбора примеров и 3 значений  $k$ .

Такой набор экспериментов оценивает различные подходы активного отбора примеров для контекстного обучения в задаче классификации намерений, как для закрытых, так и открытых многоязычных моделей. Также сравнивается обучение без примеров с обучением на разном количестве примеров и эффективность классических методов активного обучения при отборе из неразмеченных данных.

Эксперименты показали значительное улучшение производительности классификации намерений при использовании предлагаемого алгоритма. На моделях GPT-4 и Gemma 2 27B при  $k = 10, 30, 100$  наш метод стабильно превосходил случайный выбор и отбор по неуверенности. Наибольший прирост точности достигался при увеличении  $k$  до 100, что подтверждает эффективность алгоритма в выборе информативных примеров, особенно важно при ограниченном числе доступных данных.

Сравнение методов отбора показало, что наш гибридный подход, сочетающий кластеризацию и оценку неопределённости, превосходит классические методы активного обучения. Алгоритм обеспечивает репрезен-

Точность для GPT-4 с Zero-shot и Few-shot с разным количеством примеров



Точность для Gemma 2 27b с Zero-shot и Few-shot с разным количеством примеров

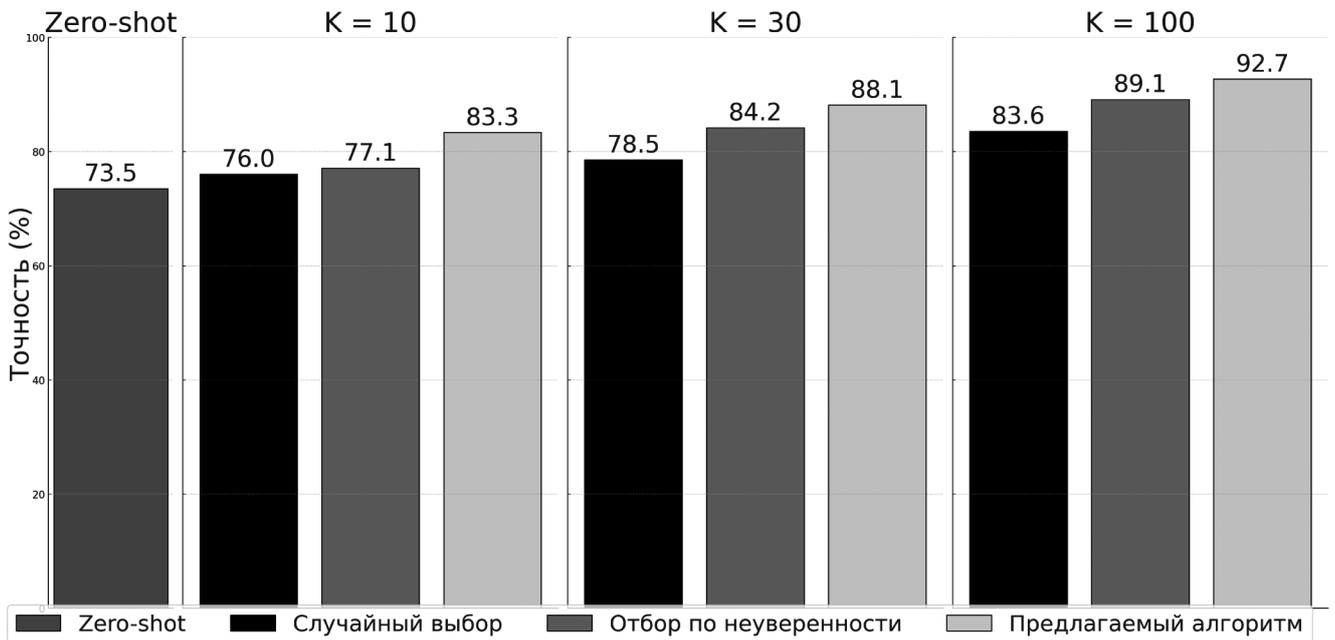


Рис. 3. Сравнение точности различных методов выбора контекстных примеров в задачах классификации намерений для моделей GPT-4 и Gemma 2 27b

тативность и разнообразие примеров, учитывая неопределённость. Эксперименты на многоязычном датасете MASSIVE Intent подтвердили, что наш подход стабильно улучшает производительность классификации намерений в условиях многоязычия, делая его подходящим для реальных приложений, таких как виртуальные ассистенты и диалоговые системы.

**Выводы**

В данной работе предложен новый гибридный алгоритм выбора примеров для контекстного обучения больших языковых моделей, который сочетает оценку неопределенности и структурный анализ данных. Этот подход позволяет существенно повысить точность клас-

сификации намерений в условиях ограниченного числа примеров, особенно по сравнению с методами случайного выбора и отбора по неуверенности. Эксперименты показали, что предлагаемый метод обеспечивает лучшие результаты на задачах классификации намерений как

для GPT-4, так и для Gemma 2 27B, что подчеркивает его эффективность для широкого спектра языковых задач.

Благодарность. Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, А.С. Кожаринова.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Devlin J. et al. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. arXiv preprint arXiv:1810.04805. 2018.
2. Brown T.B. et al. Language Models are Few-Shot Learners. arXiv preprint arXiv:2005.14165. 2020.
3. Chowdhery A. et al. PaLM: Scaling Language Modeling with Pathways. arXiv preprint arXiv:2204.02311. 2022.
4. Liu H. et al. ILLUMINER: Instruction-tuned Large Language Models as Few-shot Intent Classifier and Slot Filler. arXiv preprint arXiv:2301.12825. 2024.
5. Sahu G. et al. Data Augmentation for Intent Classification with Off-the-shelf Large Language Models. Proceedings of the 4th Workshop on NLP for Conversational AI. 2022.
6. Settles B. Active Learning Literature Survey. University of Wisconsin-Madison. 2009.
7. Gal Y., Ghahramani Z. Dropout as a Bayesian approximation: Representing model uncertainty in deep learning. Proceedings of the 33rd International Conference on Machine Learning. 2016.
8. Tong S., Koller D. Support vector machine active learning with applications to text classification. Journal of machine learning research. 2001. — Т. 2. — №. Nov. — С. 45–66.
9. Bu Y., Small K. Active Learning in Recommendation Systems with Multi-level User Preferences. Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Big Data. 2018.
10. Margatina K. et al. Active Learning Principles for In-Context Learning with Large Language Models. arXiv preprint arXiv:2302.12246. 2023.
11. Parikh S. et al. Exploring Zero and Few-shot Techniques for Intent Classification. Proceedings of the 61st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2023.
12. Muldrew W. et al. Active Preference Learning for Large Language Models. arXiv preprint arXiv:2301.11270. 2024.
13. Wang T., Chen S., Jia R. One-round Active Learning. arXiv preprint arXiv:2104.11843. 2021.
14. OpenAI. GPT-4 Technical Report. arXiv preprint arXiv:2303.08774. 2023.
15. Gemma Team. Gemma: Open Models Based on Gemini Research and Technology. arXiv preprint arXiv:2403.08295. 2024.
16. Lewis D.D., Gale W.A. A sequential algorithm for training text classifiers. Proceedings of the 17th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. New York, NY, USA: ACM. 1994.
17. Zhdanov F. Diverse mini-batch active learning. arXiv preprint arXiv:1901.05954. 2019.
18. Huang S.-J. Active Learning by Querying Informative and Representative Examples. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2014.
19. Liu Y. et al. What Makes Good In-Context Examples for GPT-3? arXiv preprint arXiv:2101.06804. 2021.
20. Gonen H., Iyer S., Blevins T., Smith N.A., Zettlemoyer L. Demystifying Prompts in Language Models via Perplexity Estimation. arXiv preprint arXiv:2212.04037. 2022.
21. Ester M. et al. A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise. Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 1996.
22. Coucke A. et al. Snips Voice Platform: an embedded Spoken Language Understanding system for private-by-design voice interfaces. arXiv preprint arXiv:1805.10190. 2018.
23. Larson S. et al. An Evaluation Dataset for Intent Classification and Out-of-Scope Prediction. Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2019.
24. Дранга Д.И. Гибридный алгоритм активного обучения для определения намерений в диалоговых системах с неразмеченными и шумными данными // Вестник Череповецкого государственного университета. 2023. № 5 (116). С. 39–51.

© Дранга Даниил Игоревич (dranga.daniil@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ФИНАНСОВЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ WEBSOCKETS, SSE И GRPC

## CHOICE OF DATA TRANSMISSION TECHNOLOGY FOR HIGH-LOAD FINANCIAL SYSTEMS USING WEBSOCKETS, SSE, AND GRPC

*D. Zolotukhina*

*Summary.* The article presents a study of data transmission technologies WebSockets, SSE, and gRPC in the context of their application to high-load financial systems. A Java-based program was developed to simulate real-time transmission of financial quotes under various load levels. Key metrics, including latency, throughput, connection stability, and resource consumption, were measured. The obtained data allow for identifying the most suitable technology for different scenarios of financial applications.

*Keywords:* WebSockets, Server-Sent Events, gRPC, HTTP/2 protocol, Protocol Buffers, throughput, connection stability.

*Золотухина Дарья Юрьевна*  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
университет»  
*dar.zolott@gmail.com*

*Аннотация.* В статье представлено исследование технологий передачи данных WebSockets, SSE и gRPC в контексте их применения для высоконагруженных финансовых систем. Разработана программа на языке Java, моделирующая передачу котировок в реальном времени с разными уровнями нагрузки. Проведены замеры ключевых метрик, включая задержку, пропускную способность, стабильность соединений и потребление ресурсов. Полученные данные позволяют определить наиболее подходящую технологию для различных сценариев финансовых приложений.

*Ключевые слова:* WebSockets, Server-Sent Events, gRPC, протокол HTTP/2, Protocol Buffers, пропускная способность, стабильность соединений.

### Введение

Современные финансовые системы требуют высокой надёжности и производительности в условиях растущего объёма данных и увеличения числа подключений. Передача финансовых данных в реальном времени, таких как котировки, уведомления о транзакциях и аналитические данные, является ключевым аспектом работы таких систем. Выбор подходящей технологии для обработки этих данных напрямую влияет на стабильность, масштабируемость и скорость реакции финансовых платформ.

Сложность задачи передачи данных в финансовых приложениях заключается в необходимости обеспечения низкой задержки и высокой пропускной способности при значительных нагрузках. Технологии, такие как WebSockets, Server-Sent Events (SSE) и gRPC, предоставляют различные подходы к решению этой проблемы, однако их производительность и ресурсоёмкость сильно варьируются в зависимости от сценариев использования.

WebSockets обеспечивают двунаправленную связь между клиентом и сервером через одно соединение, установленное по протоколу HTTP. Она позволяет обмениваться данными в реальном времени с минимальными задержками, что делает её подходящей для задач,

требующих интерактивного взаимодействия, таких как чаты, онлайн-игры или биржевые платформы. Особенностью WebSockets является постоянное соединение, которое остаётся открытым до завершения сеанса, что снижает накладные расходы на установление новых соединений [1]. Это преимущество особенно важно для приложений с большим количеством подключений, однако при росте числа клиентов увеличивается нагрузка на серверные ресурсы.

SSE использует однонаправленные потоки HTTP для передачи данных в реальном времени. SSE подходит для сценариев, где сервер должен отправлять обновления клиенту, например, для уведомлений, информационных панелей или трансляции котировок. В отличие от WebSockets, SSE обеспечивает более простую и лёгкую в реализации архитектуру, что делает её привлекательной для приложений с ограниченными требованиями к двунаправленной коммуникации. Однако использование протокола HTTP/1.1 ограничивает масштабируемость SSE в условиях высоких нагрузок, что может стать препятствием для работы с большим числом подключений [2].

gRPC — это высокопроизводительная технология удалённого вызова процедур (RPC), разработанная Google, которая использует протокол HTTP/2 и бинарный формат Protocol Buffers для передачи данных. Она

оптимизирована для минимизации задержек и максимальной пропускной способности, что делает её особенно эффективной для приложений с большими объёмами данных и высокими требованиями к стабильности. gRPC поддерживает потоковую передачу данных и двунаправленную коммуникацию, обеспечивая низкие накладные расходы даже в условиях интенсивного трафика [3]. Тем не менее её сложность в реализации и высокая ресурсоёмкость могут стать ограничением для некоторых систем.

Данное исследование направлено на систематический анализ указанных технологий с целью выявления их преимуществ и ограничений в условиях высоконагруженных финансовых систем. Результаты работы могут быть использованы для обоснованного выбора технологии, оптимально подходящей для задач финансовой индустрии.

### Материалы и методы

Для проведения исследования была разработана программа на языке Java, предназначенная для тестирования технологий передачи финансовых данных в реальном времени: WebSockets, SSE и gRPC. Программа представляет собой многопоточное приложение, которое имитирует сценарий трансляции котировок финансовых инструментов в условиях высокой нагрузки. Основная задача программы заключалась в обеспечении потоковой передачи данных в формате JSON клиентам, подключённым через различные технологии, с одновременным замером ключевых метрик производительности.

Программа была разделена на три отдельных модуля, каждый из которых реализует одну из тестируемых технологий. Для реализации WebSockets использовался фреймворк Spring Boot, обеспечивающий поддержку двунаправленного постоянного соединения. Клиенты подключались к серверу через endpoint /ws, а сервер передавал данные с минимальными накладными расходами. SSE также реализовывались на базе Spring Boot, где сервер отправлял обновления через однонаправленный поток HTTP/1.1 с использованием endpoint /sse. Реализация gRPC выполнена с использованием библиотеки gRPC-Java, обеспечивающей передачу данных через HTTP/2 и бинарный формат Protocol Buffers. Для каждого клиента открывался потоковый RPC-метод streamData, что минимизировало задержки и повышало пропускную способность. Схема архитектуры тестовой программы представлена на рисунке 1.

Передаваемые данные представляли собой синтетически сгенерированные котировки финансовых инструментов, включавшие уникальный идентификатор, временную метку, случайное значение цены в диапазоне от 1 до 1000 и статус («OK», «WARNING» или «ERROR»).

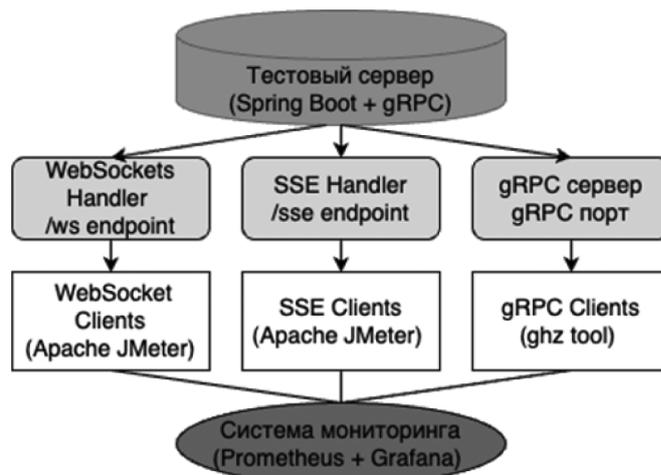


Рис. 1. Архитектура тестовой программы

Данные обновлялись каждые 100 миллисекунд для эмуляции биржевых сценариев реального времени. Генерация осуществлялась сервером программно и была унифицированной для всех тестируемых технологий.

Тестирование проводилось в условиях низкой, средней и высокой нагрузки. Низкая нагрузка предусматривала подключение 1000 клиентов с интервалом обновления данных в 100 миллисекунд. Средняя нагрузка увеличивала количество подключений до 5000, а интервал обновления сокращался до 50 миллисекунд. Высокая нагрузка включала 10 000 клиентов и интервал обновления в 10 миллисекунд. Для создания нагрузки и подключения клиентов использовались инструменты Apache JMeter[4] для WebSockets и SSE, а также ghz[5] для gRPC.

В рамках экспериментов замерялись следующие метрики:

1. Средняя и максимальная задержка (latency) для оценки времени доставки данных от сервера до клиента;
2. Пропускная способность (throughput), отражающая количество успешно переданных сообщений за единицу времени;
3. Стабильность соединений, измеряемая в процентах успешных соединений при увеличении нагрузки;
4. Потребление ресурсов (CPU и памяти), что критично для оценки масштабируемости технологий;
5. Потери данных, указывающие на количество недоставленных сообщений.

Тестовая среда включала сервер со следующими характеристиками:

- процессор: Intel Core i7-12700K (12 ядер, 20 потоков, 3.6 GHz);
- оперативная память: 32 GB DDR4;
- операционная система: Ubuntu 22.04;
- JVM: OpenJDK 17.

Мониторинг производительности осуществлялся с помощью Prometheus[6] и Grafana[7], а также встроенных инструментов JVM, таких как Java Flight Recorder и VisualVM.

**Результаты**

Результаты исследования представлены в таблице 1.

При низкой нагрузке минимальная средняя задержка была зафиксирована для gRPC и составила 7 мс. WebSockets показали задержку 12 мс, а SSE — 18 мс. С увеличением нагрузки до 10 000 клиентов средняя задержка возросла до 20 мс для gRPC, 65 мс для WebSockets и 80 мс для SSE.

На графике рисунка 2 представлены значения пропускной способности (Throughput) для технологий WebSockets, SSE и gRPC при трёх уровнях нагрузки: низкой, средней и высокой. Для низкой нагрузки максимальное значение Throughput продемонстрировала технология gRPC, составив 25 000 сообщений в секунду. WebSockets достигли 18 000 сообщений в секунду, а SSE — 14 000 сообщений в секунду. При средней нагрузке Throughput уменьшился для всех технологий. gRPC показал результат 15 000 сообщений в секунду, WebSockets — 10 000 сообщений в секунду, а SSE — 8 000 сообщений в секунду. При высокой нагрузке значение

Таблица 1.

Производительность WebSockets, SSE и gRPC в зависимости от нагрузки

Метрика	Нагрузка	WebSockets	SSE	gRPC
Средняя Latency (мс)	Низкая	12 ms	18 ms	7 ms
	Средняя	28 ms	35 ms	10 ms
	Высокая	65 ms	80 ms	20 ms
Throughput (сообщ/сек)	Низкая	18000	14000	25000
	Средняя	10000	8000	15000
	Высокая	6000	5000	12000
Процент разорванных соединений	Низкая	0.1 %	0.3 %	0 %
	Средняя	0.5 %	1 %	0.2 %
	Высокая	3 %	5 %	0.5 %
Потребление CPU (%)	Низкая	15 %	10 %	20 %
	Средняя	40 %	30 %	50 %
	Высокая	80 %	70 %	90 %

Throughput достигло 12 000 сообщений в секунду для gRPC, 6 000 сообщений в секунду для WebSockets и 5 000 сообщений в секунду для SSE.

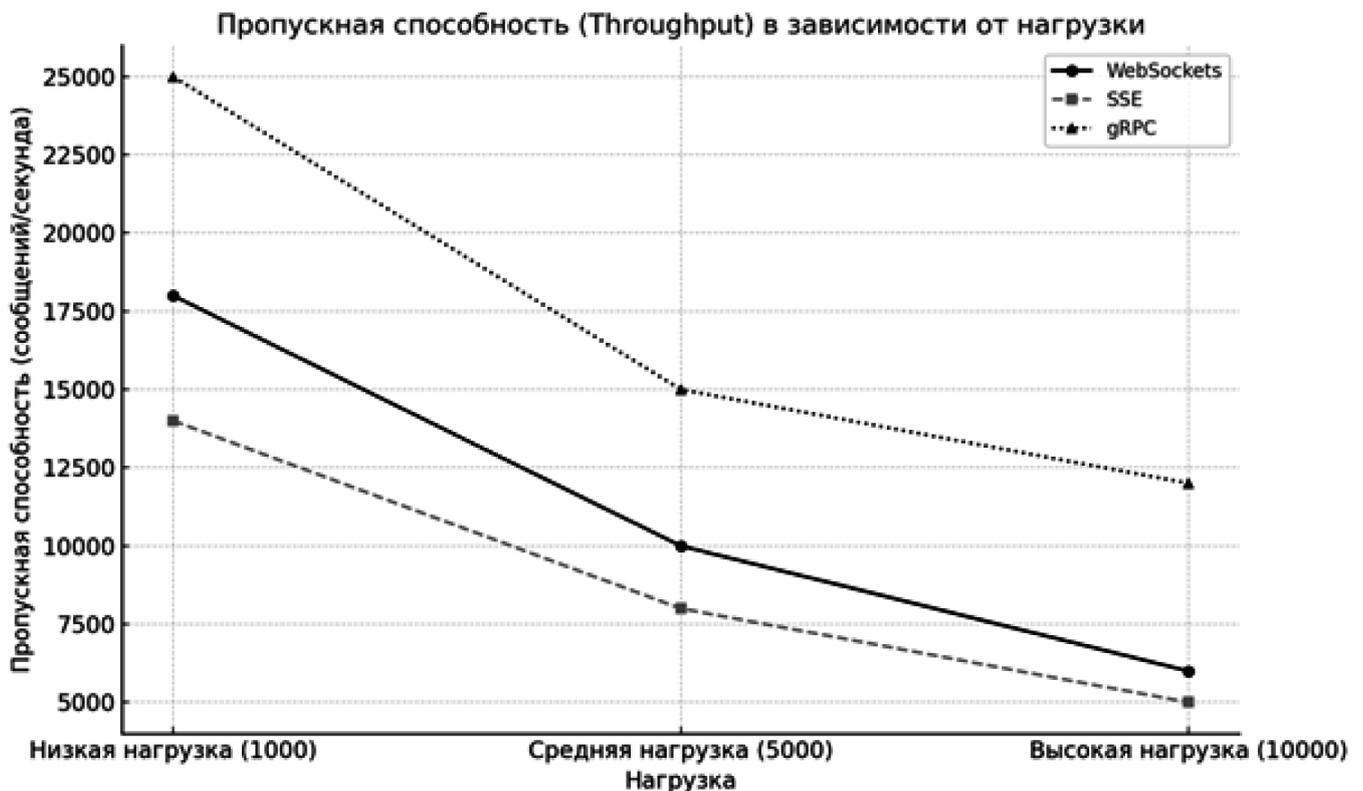


Рис. 2. Пропускная способность (Throughput) в зависимости от нагрузки

Процент разорванных соединений при низкой нагрузке составил 0 % для gRPC, 0.1 % для WebSockets и 0.3 % для SSE. При увеличении нагрузки до 10 000 клиентов процент разорванных соединений вырос до 0.5 % для gRPC, 3 % для WebSockets и 5% для SSE.

Потребление CPU при низкой нагрузке составило 15 % для WebSockets, 10 % для SSE и 20 % для gRPC. При высокой нагрузке CPU использовалось на уровне 80 % для WebSockets, 70 % для SSE и 90 % для gRPC.

### Обсуждение

Анализ результатов исследования позволяет выявить ключевые особенности и ограничения технологий WebSockets, SSE и gRPC при передаче финансовых данных в условиях различных уровней нагрузки. Основные выводы касаются показателей задержки, пропускной способности, стабильности соединений и ресурсоёмкости.

Прежде всего, использование gRPC продемонстрировало значительные преимущества в условиях низкой и средней нагрузки. Это связано с использованием HTTP/2 и бинарного протокола Protocol Buffers, которые обеспечивают более эффективное использование сетевых и процессорных ресурсов. Однако при высокой нагрузке потребление CPU у gRPC оказалось значительно выше, что может ограничивать его применение на ресурсозависимых системах. В то же время gRPC показал наименьший процент разорванных соединений, что особенно важно для критически важных финансовых приложений.

WebSockets, благодаря двунаправленной модели передачи данных, обеспечили хорошую производительность при всех уровнях нагрузки, однако их ресурсоёмкость существенно возросла при высокой нагрузке. Это может быть связано с увеличением числа активных соединений и повышенной нагрузкой на серверные ресурсы. Тем не менее WebSockets остаются универсальным решением для приложений, где важно поддерживать интерактивное взаимодействие с клиентами.

SSE показали худшие результаты среди тестируемых технологий, особенно при увеличении числа клиентов. Однонаправленная модель передачи данных через HTTP/1.1 ограничивает масштабируемость технологии, что объясняет низкие значения пропускной способности и повышенный процент разорванных соединений при высокой нагрузке. SSE может быть целесообразно использовать только для сценариев с ограниченным числом клиентов и невысокой частотой обновления данных.

### Выводы

Сравнительный анализ технологий WebSockets, SSE и gRPC, проведённый в ходе исследования, показал, что выбор технологии передачи финансовых данных зави-

сит от специфики задач, а также от характеристик нагрузки и требований к производительности.

Для приложений, обрабатывающих финансовые данные в реальном времени с большим числом подключений и строгими требованиями к задержкам и стабильности, наиболее подходящим выбором является gRPC. Использование HTTP/2 и бинарного формата Protocol Buffers обеспечивает низкие задержки и минимальные потери данных, что делает gRPC оптимальным для систем, таких как биржевые платформы, трансляция котировок или высокочастотный трейдинг. Однако высокая ресурсоёмкость gRPC при увеличении нагрузки требует оптимизации серверной инфраструктуры, например, за счёт горизонтального масштабирования или выделения специализированных серверных ресурсов.

WebSockets демонстрируют хорошие результаты в сценариях, где требуется двунаправленная передача финансовых данных, например, для предоставления клиентских уведомлений, реализации инструментов анализа или поддержки взаимодействия в трейдерских приложениях. Эта технология характеризуется высокой стабильностью при умеренной нагрузке, но при увеличении числа подключений требует оптимизации управления соединениями и распределения ресурсов, особенно для долгоживущих соединений.

SSE являются подходящим выбором для задач с низкой нагрузкой и минимальными требованиями к ресурсам. SSE могут использоваться для трансляции однонаправленных уведомлений о состоянии портфеля, изменении балансов или обновлении ограниченного набора котировок. Однако их ограниченная масштабируемость и более высокая задержка делают технологию менее эффективной для крупных финансовых систем. Перспективным направлением для SSE является интеграция с HTTP/2, что может существенно повысить их производительность.

Таким образом, выбор технологии передачи данных для финансовых приложений должен основываться на количестве подключений, требованиях к задержкам, стабильности и доступных серверных ресурсах. gRPC рекомендуется для высоконагруженных систем с большими объёмами данных, WebSockets подходят для задач с умеренной нагрузкой и двунаправленной связью, а SSE остаются разумным выбором для простых сценариев с ограниченным количеством подключений.

Полученные результаты и выводы имеют практическую ценность для разработки финансовых систем, таких как биржевые платформы, системы уведомлений, аналитические инструменты и приложения для управления портфелем. Эти технологии обеспечивают гибкость в выборе решений, адаптированных под конкретные потребности финансовой индустрии.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлев Н.Е. Взаимодействие web-сервера и web-приложение через web-socket // *Мировая наука*. 2019. №12 (33). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimodeystvie-web-servera-i-web-prilozhenie-cherez-web-socket> (дата обращения: 20.01.2025).
2. What is Server-Sent Events (SSE) and how to implement it? [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://medium.com/deliveryherotechhub/what-is-server-sent-events-sse-and-how-to-implement-it-904938bfd73> (дата обращения: 20.01.2025).
3. Buzhin I.G., Derevyankin A.Y., Antonova V.M., Perevalov A.P., Mironov Y.B. Comparative analysis of the REST and gRPC used in the monitoring system of communication network virtualized infrastructure // *T-Comm*. 2023. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/comparative-analysis-of-the-rest-and-grpc-used-in-the-monitoring-system-of-communication-network-virtualized-infrastructure> (дата обращения: 20.01.2025).
4. Туровец Н.О., Алефиренко В.М. Методы тестирования интегрированных информационных систем // *Science Time*. 2022. №3 (99). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-testirovaniya-integrirovannyh-informatsionnyh-sistem> (дата обращения: 20.01.2025).
5. Introduction to ghz. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://ghz.sh/docs/intro.html> (дата обращения: 20.01.2025).
6. Маратканов А.С., Суханов А.А., Воробьева А.А. Средства анализа и визуализации метрик работы приложения // *International scientific review*. 2019. №LIX. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sredstva-analiza-i-vizualizatsii-metrik-raboty-prilozheniya> (дата обращения: 20.01.2025).
7. Средство визуализации данных Grafana. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://github.com/grafana/grafana> (дата обращения: 20.01.2025).

---

© Золотухина Дарья Юрьевна (dar.zolott@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ

## ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF MACHINE LEARNING MODELS IN INTRUSION DETECTION SYSTEMS

**O. Karelova  
O. Kostrova  
K. Kurbanova**

*Summary.* This article examines the classification of intrusion detection systems (IDS) and the effectiveness of applying various machine learning and deep learning algorithms in these systems. The purpose of intrusion detection systems, their main functions, methods for detecting intrusions, types, and operating principles are also described. Statistics on the performance of traditional intrusion detection systems based on open-source solutions are provided, as well as an examination of the effectiveness of applying different machine learning and deep learning algorithms in detecting various types of attacks on network infrastructures.

*Keywords:* intrusion detection system, attack, machine learning, traffic analysis, Suricata, Snort.

**Карелова Оксана Леонидовна**

Доктор физико-математических наук, доцент,  
профессор, Московский Государственный  
Лингвистический Университет;

Профессор, Российская академия народного хозяйства  
и государственной службы при Президенте РФ (Москва),  
okarelova@yandex.ru

**Кострова Ольга Евгеньевна**

Институт информационных наук ФГБОУ ВО МГЛУ  
olkeruac@gmail.com

**Курбанова Камиля Маратовна**

Институт информационных наук ФГБОУ ВО МГЛУ  
kamila.business03@gmail.com

*Аннотация.* В статье рассматривается классификация систем обнаружения вторжений (СОВ/IDS) и эффективность применения в таких системах различных алгоритмов машинного и глубокого обучения. Описано назначение систем обнаружения вторжений, их основные функции, методы выявления вторжений, типы и принципы работы. Приведена статистика эффективности работы традиционных систем обнаружения вторжений на базе open-source решений, а также рассмотрена эффективность применения различных алгоритмов машинного и глубокого обучения в обнаружении разных типов атак на сетевые инфраструктуры.

*Ключевые слова:* система обнаружения вторжений, атака, машинное обучение, анализ трафика, Suricata, Snort.

## Введение

С развитием технологий связи, все больший объем различных и разнородных данных передается через сетевые системы. Как правило, эти данные поступают из различных источников, таких как датчики, компьютеры и Интернет вещей (IoT). По мере того, как расширяется область применения передающих устройств, расширяется и зона атаки, что делает сетевые системы более уязвимыми для потенциальных угроз. Методы кибератак становятся все более сложными и изощренными, а также возрастает их частота: во II квартале 2024 года зафиксировано в 2,6 раза больше атак по сравнению с аналогичным периодом в 2023 году [1].

Одной из важнейших задач в области кибербезопасности является обнаружение сетевых угроз. В последнее время многие исследования сосредоточены на применении технологии искусственного интеллекта (ИИ) в системах обнаружения сетевых вторжений.

В ИСО МЭК 18028-1-2008 система обнаружения вторжений (СОВ) (intrusion detection system — IDS) определяется, как техническая система, используемая для идентификации того, что была предпринята попытка вторжения, что вторжение происходит или произошло, а также для возможного реагирования на вторжения в информационные системы и сети. В данной статье рассмотрены виды СОВ и сравниваются методы применения глубокого и машинного обучения в данной области.

## Классификация традиционных систем обнаружения вторжений

Система предотвращения и обнаружения вторжений (IPS/IDS) представляет собой совокупность программных и аппаратных средств, предназначенных для выявления и предотвращения несанкционированного доступа к сетевой инфраструктуре. Данные системы можно разделить на две основные категории: систему обнаружения вторжений (далее — СОВ или IDS) и систему предотвращения вторжений (далее — СПВ или IPS).

Ключевые функции IDS включают в себя выявление вторжений и атак, определение их источника, регистрацию инцидентов, анализ уязвимостей, прогнозирование атак, а также оперативное информирование ответственных должностных лиц и формирование отчетов.

Основной механизм действия IDS заключается в анализе сетевого трафика для поиска потенциальных угроз, хотя специфика анализа может различаться. Наиболее распространенными методами являются сигнатурный и поведенческий анализ. Сигнатурные IDS функционируют по принципу, аналогичному антивирусному программному обеспечению: они сопоставляют сигнатуры угроз с обновляемой базой данных для идентификации атак на информационную систему, минимизируя количество ложных срабатываний. Тем не менее, этот метод имеет ограничение: он не может обнаружить атаки, сигнатуры которых отсутствуют в базе.

В отличие от сигнатурных методов, поведенческий анализ основан на моделировании «нормального» функционирования системы. Этот метод опирается на выявление отклонений от эталонного режима, рассматривая любые несоответствия как потенциальные вторжения или аномалии.

Преимущества поведенческих методов заключаются в их способности обнаруживать атаки без знания конкретных сигнатур и высокой чувствительности к изменениям в состоянии системы. Однако, возможны частые ложные срабатывания, особенно в условиях реального сетевого поведения, что также требует временных затрат на этап обучения. Кроме того, нельзя не подчеркнуть, что задача создания эталонной модели представляется трудоемкой и комплексной.

Функции IPS заключаются в активном блокировании атак, прекращении доступа к хостам и изменении конфигурации сети для предотвращения атак, а также фильтрации инфицированных файлов.

Поскольку функциональные возможности IPS не обеспечивают обнаружение внешних и внутренних атак в реальном времени, их почти не имеет смысла использовать без IDS. На современном рынке практически не осталось исключительно IPS-решений, вместо этого предлагаются системы IDPS (Intrusion Detection and Prevention Systems), которые одновременно выявляют атаки и выполняют предустановленные действия, такие как Pass, Alert, Drop и Reject.

Системы обнаружения вторжений в широком смысле подразделяются на категории в зависимости от положения датчиков IDS: в сети или на хосте.

Сетевая система обнаружения вторжений (NIDS) отслеживает и анализирует сетевой трафик на предмет по-

дозрительного поведения и реальных угроз с помощью датчиков NIDS, которые анализируют информацию о заголовках всех пакетов, передаваемых по сети.

Датчики NIDS устанавливаются в критических точках сети для проверки трафика со всех устройств в сети, например, в подсети, где расположены брандмауэры, для обнаружения отказа в обслуживании (DoS) и других подобных атак.

Система обнаружения вторжений на базе хоста (HIDS) отслеживает и анализирует конфигурацию системы и активность приложений на устройствах, работающих в корпоративной сети. Датчики HIDS могут быть установлены на любом устройстве, независимо от того, является ли это настольным ПК или сервером.

Датчики HIDS фиксируют существующие системные файлы и сравнивают их с ранее зафиксированными файлами. Они отслеживают нестандартные изменения, такие как перезапись, удаление и доступ к определенным портам. В результате администраторам отправляются уведомления для расследования действий, которые кажутся подозрительными.

Одним из недостатков систем обнаружения вторжений (IDS) является возможность замедления работы сети или отдельных устройств. Из-за ресурсозатратных процессов, связанных с анализом состояния сети, может происходить снижение производительности системы. Кроме того, если говорить о недостатках эффективности анализа всей сети, это в первую очередь касается хостовых систем (HIDS). Такие системы могут не зафиксировать изменения в трафике, которые могут оказаться безопасными для конкретного устройства, но при этом представлять серьезную угрозу для функционирования всей сети.

### Применение ИИ в системах обнаружении вторжений

Чистых IDS с модулями искусственного интеллекта в данный момент на рынке не представлено, но есть решения, включающие в себя эту технологию, например, XDR (Extended detection and response — система обнаружения угроз и реагирования) и NDR (Network Detection and Response — сетевое обнаружение и реагирование). Среди таких решений можно выделить Darktrace NDR, Cisco XDR, Palo Alto Networks Cortex XDR. На российском рынке же отметим Kaspersky Next XDR Expert.

Однако по этим решениям не представлена в открытом доступе статистика по точности обнаружения различных атак, поэтому далее мы будем опираться на исследования по эффективности сигнатурных open-source IDS Snort и Suricata, а также отдельных алгоритмов машинного обучения.

Например, Mehak Usmani, Misbah Anwar и др. удалось провести эксперимент с обучением рекуррентных нейронных сетей долгой краткосрочной памяти (LSTM, DT driven LSTM) прогнозированию ARP-spoofing атак, в ходе которого модели предсказывали атаки с точностью 99,9 % и 100 % соответственно [2].

Конечно, спектр моделей, обучаемых с целью выявления вторжений в сетях, гораздо шире. В него входят такие модели, как деревья решений (далее — Decision tree, DT), Метод случайного леса (Random forest, RF), Метод k-ближайших соседей (k-nearest neighbors, KNN), Наивный байесовский классификатор (Naive Bayes, NB), Метод опорных векторов (Support vector machine, SVM), Многослойный перцептрон (Multilayer perceptron, MLP), Байесовские сети (BayesNet), Нечеткая логика (Fuzzy Logic). Разные модели по-разному проявили себя в экспериментах в датасетах с различными типами атак (Таблица 1).

Таблица 1.

Точность обнаружения DDoS, R2L, U2R различными моделями, предложенными в исследованиях

Алгоритм МО; автор	DDoS	R2L, U2R
Самоорганизующаяся карта Кохонена; Braga, R.; Mota, E.; Passito, A. [3]	98 %	ND
Самоорганизующаяся карта Кохонена; Ibrahim, L.M.; Basheer, D.T.; Mahmud, M.S. [4]	75,49	75,49 %
SVM; Kokila, R.; Selvi, S.T.; Govindarajan, K. [5]	95 %	ND
Naive Bayes; Mukherjee, S.; Sharma, N. [6]	98,7 %	64 % (U2R), 96 % (R2L)
Self-taught Deep Learning; Javaid, A.; Niyaz, Q.; Sun, W.; Alam, M. [7]	ND	92,98 %
J48, Naive Bayesian, Random Forest, Multi-layer Perceptron, Support Vector Machine; Yin, C.; Zhu, Y.; Fei, J.; He, X. [8]	83,28 %	83,28 %
Глубокое обучение; Tuan Anh Tang, Lotfi Mhamdi, Des McLernon, Syed Ali Raza Zaidi, Mounir Ghogho [9]	ND	80,7 %
Gated Recurrent Neural Network; Tuan Anh Tang, Lotfi Mhamdi, Des McLernon, Syed Ali Raza Zaidi, Mounir Ghogho	ND	89 %

Исходя из данных Таблицы 1, самыми эффективными моделями для обнаружения DDoS-атак стал Метод опорных векторов (Support vector machine, SVM), а для атак R2L, U2R — STDL.

Далее будут использоваться следующие аббревиатуры:

FPR — Частота ложноположительных срабатываний (False Positive Rate)

FNR — Частота ложноотрицательных срабатываний (False Negative Rate)

TPR — Частота истинно положительных срабатываний (True Positive Rate)

DR — Частота обнаружения (Detection Rate)

DA — Точность обнаружения (Detection Accuracy)

В исследовании Syed Ali Raza Shah и Biju Issac [10] в ходе одного из экспериментов следующие алгоритмы машинного обучения показали результаты, представленные в Таблице 2.

Таблица 2.

Точность обнаружения атак различными алгоритмами машинного обучения

MAC Spoofing, DNS Poisoning, IP Spoofing			
Алгоритм машинного обучения	DR, %	FPR, %	DA, %
Support Vector Machines	96,8	0,7	95,6
Decision Trees	79,2	2,9	82
Fuzzy Logic	94,5	0,2	92,3
BayesNet	65	3,5	73
NaiveBayes	62	3	70
Атаки на SSH, FTP, сканирование			
Алгоритм машинного обучения	DR, %	FPR, %	DA, %
Support Vector Machines	97	0,5	94,2
Decision Trees	81,1	1,9	85
Fuzzy Logic	92	1,6	94
BayesNet	63	5,1	71,2
NaiveBayes	65	6	71
Отказ в обслуживании (DoS), Повышение привилегий (U2R), Несанкционированный удаленный доступ (R2L), Атаки по сторонним каналам			
Алгоритм машинного обучения	DR, %	FPR, %	DA, %
Support Vector Machines	97,3	3,1	95,4
Decision Trees	78	10	81,2
Fuzzy Logic	95	4	94
BayesNet	69	8	74
NaiveBayes	70	7,6	79

По данным из Таблицы 2, самую высокую точность обнаружения для всех приведенных типов атак демонстрируют SVM и Fuzzy Logic.

В том же исследовании на примере Snort и Suricata в одном из экспериментов анализировалась точность обнаружения вредоносных пакетов при обработке трафика. Результаты представлены в Таблице 3.

Таблица 3.

Точность обнаружения вредоносных пакетов Suricata и Snort

Трафик	Snort			Suricata		
	FPR, %	FNR, %	TPR, %	FPR, %	FNR, %	TPR, %
UDP	11	0	0	23	3	0
TCP	10	0	0	32	9	0
ICMP	3	0	0	39	27	3

По приведенным в табл. 3 данным, Snort произвел меньше ложноположительных сигналов. Хотя ложноотрицательные срабатывания наблюдались в обоих IDS, в исследовании было установлено, что точность обнаружения Snort в эксперименте была выше, чем у Suricata

В другом эксперименте проводился анализ Snort и Suricata с гибридным плагином SVM и Fuzzy Logic, а также с оптимизированным SVM. Результаты представлены в Таблице 4.

Таблица 4.

Обнаружение различных атак с помощью Snort с плагином SVM и Fuzzy Logic, и Snort с плагином оптимизированного SVM

Вредоносный трафик	Snort с SVM и Fuzzy Logic, %		Snort с оптимизированным SVM, %	
	FPR	FNR	FPR	FNR
SSH	2	0	1,6	0,1
DoS/DDoS	1	0,5	1	0,2
FTP	3	0,5	2	0,2
HTTP	2	1	1,5	0,9
ICMP	2	0,7	1	0,5
ARP	2	0	1	0
Scan	1	0,5	0,5	0,3
Всего	13	3,2	8,6	2,2

Таким образом, частота ложноположительных и ложноотрицательных срабатываний значительно снизилась.

В исследовании А.И. Гетьмана, М.Н. Горюнова, А.Г. Мацкевича, Д.А. Рыболовлева [11] также сопоставлялись IDS на основе машинного обучения с сигнатурными IDS на примере фаерволла WAF ModSecurity, IDS Suricata и IDS на основе машинного обучения (далее — ML COB).

Результаты эксперимента показали, что NIDS Suricata не распознает атаки, связанные с внедрением и эксплуатацией Shell-кода в зашифрованном HTTPS-трафике. WAF

ModSecurity и ML COB показывают схожие результаты в обнаружении этих атак, но ML COB оказывается более эффективным при выявлении попыток загрузки Shell-кода, обнаруживая атаки на более ранних стадиях, включая этап внедрения команд операционной системы.

В сценарии несанкционированного доступа через подбор или скрытое изменение пароля, NIDS Suricata также не фиксирует атаки в зашифрованном трафике. ML COB превосходит WAF ModSecurity по эффективности в обнаружении атак подбора пароля и CSRF-атак.

Когда речь идет о моделировании эксплуатации 0-day уязвимостей, NIDS Suricata снова не справляется с обнаружением атак в зашифрованном трафике, тогда как ML COB успешно выявляет ранее неизвестные угрозы.

Комплексное сравнение средств защиты показало, что ML COB в тестовых условиях превосходит NIDS Suricata по всем показателям и работает на уровне WAF ModSecurity. Также стоит отметить, что эффективность WAF ModSecurity зависит от полноты базы правил, тогда как ML COB зависит от качества обучающего трафика.

Одним из главных ограничений IDS на основе машинного обучения является время и сложность обучения, в том числе на реальном трафике, а также играют роль задержки трафика при обучении.

Преимуществами IDS, основанными на моделях машинного обучения, по сравнению с сигнатурными IDS, являются: возможность выявления 0-day уязвимостей; работа с большим объемом сетевого трафика; детекция скрытых паттернов в сетевом поведении; сокращение ложноотрицательных и ложноположительных срабатываний по сравнению с сигнатурными IDS.

### Заключение

В статье рассмотрены различные модели машинного обучения и их применение в сигнатурных системах обнаружения вторжений. Опираясь на описанные преимущества и результаты исследований по данной тематике, можно сделать вывод, что средства с искусственным интеллектом определенно могут внести новшества в функционал существующих средств IDS, однако, не могут выступать в качестве самостоятельных программно-аппаратных средств защиты. Использование модулей машинного обучения осложнено необходимостью трудоемкого обучения и «калибровкой» модели, однако, целесообразным является их использование в качестве дополнения к существующим сигнатурным средствам защиты и дальнейшее исследование потенциала в данной области, т.к. в комплексе средство повысить общую эффективность выявления вторжений и приближает разработчиков средств кибербезопасности к разрешению проблемы невозможности обнаружения ранее неизвестных атак.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авезова Я.Э. Актуальные киберугрозы в странах СНГ 2023—2024 [Электронный ресурс] // Positive Technologies : [сайт]. [2024]. URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/aktualnye-kiberugrozy-v-stranah-sng-2023-2024/> (дата обращения: 19.10.2024)
2. Usmani M., Anwar M., Komal F., Ghufuran A., Shahbaz A. Predicting ARP spoofing with Machine Learning. 2022 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST), Karachi, Pakistan, 2022, pp. 1–6. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9922925> (дата обращения: 19.10.2024)
3. Braga R., Mota E., Passito, A. Lightweight DDoS flooding attack detection using NOX/OpenFlow // The 35th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks, Denver, Colorado, USA, Proceedings, 10–14 October 2010, с. 408–415. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5735752> (дата обращения: 19.10.2024)
4. Ibrahim L.M., Basheer D.T., Mahmood M.S. A comparison study for intrusion database (KDD99, NSL-KDD) based on self-organization map (SOM) artificial neural network // Journal of Engineering Science and Technology, 2018, с.107–119. URL: [https://www.researchgate.net/publication/329450947\\_A\\_comparison\\_study\\_for\\_intrusion\\_database\\_KDD99\\_NSL-KDD\\_based\\_on\\_self\\_organization\\_map\\_SOM\\_artificial\\_neural\\_network](https://www.researchgate.net/publication/329450947_A_comparison_study_for_intrusion_database_KDD99_NSL-KDD_based_on_self_organization_map_SOM_artificial_neural_network) (дата обращения: 19.10.2024)
5. Kokila R., Selvi S.T.; Govindarajan K. DDoS detection and analysis in SDN-based environment using support vector machine classifier // International Conference on Advanced Computing, Chennai, India, 2014, с. 205–210. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7229711> (дата обращения: 19.20.2024)
6. Mukherjee S., Sharma N. Intrusion Detection using Naive Bayes Classifier with Feature Reduction. // Procedia Technology, 2012, Том 4, с. 119–128. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017312002964> (дата обращения: 19.20.2024)
7. Shone N., Ngoc T.N., Phai V.D., Shi, Q. A Deep Learning Approach to Network Intrusion Detection // IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence, 2018, Том 2, № 1, с. 41–50. URL: <https://eudl.eu/pdf/10.4108/eai.3-12-2015.2262516> (дата обращения 19.10.2024)
8. Yin C., Zhu Y., Fei J., He X. A Deep Learning Approach for Intrusion Detection Using Recurrent Neural Networks // IEEE Access, 2017, Том 5, с. 21954–21961. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8066291> (дата обращения: 19.10.2024)
9. Tang T.A., Mhamdi L., McLernon D., Zaidi S.A.R., Ghogho M. DeepIDS: Deep Learning Approach for Intrusion Detection in Software Defined Networking. // Electronics, 2020, № 9, с. 1533. URL: [https://www.researchgate.net/publication/344450711\\_DeepIDS\\_Deep\\_Learning\\_Approach\\_for\\_Intrusion\\_Detection\\_in\\_Software\\_Defined\\_Networking](https://www.researchgate.net/publication/344450711_DeepIDS_Deep_Learning_Approach_for_Intrusion_Detection_in_Software_Defined_Networking) (дата обращения: 19.10.2024)
10. Shah S.A.R., Issac B. Performance Comparison of Intrusion Detection Systems and Application of Machine Learning to Snort System. // Future Generation Computer Systems, 2018, Том 80, с. 157–170. URL: <https://nrl.northumbria.ac.uk/id/eprint/35851/1/Shah,%20Issac%20-%20Performance%20comparison%20of%20intrusion%20detection%20systems%20and%20application%20of%20machine%20learning%20to%20Snort%20system%20AAM.pdf> (дата обращения: 19.10.2024)
11. Гетьман А.И., Горюнов М.Н., Мацкевич А.Г., Рыболовлев Д.А. Сравнение системы обнаружения вторжений на основе машинного обучения с сигнатурными средствами защиты информации. Труды Института системного программирования РАН. 2022;34(5):111–126. [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2022-34\(5\)-7](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2022-34(5)-7) (дата обращения: 19.10.2024)

© Карелова Оксана Леонидовна (okarelova@yandex.ru); Кострова Ольга Евгеньевна (olkeruac@gmail.com);  
Курбанова Камиля Маратовна (kamila.business03@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АБЛЯЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕЛЯЦИОННЫХ ТРОЕК RESC

## AN ABLATIVE STUDY OF THE RELATIONAL TRIPLE EXTRACTION MODEL RESC

A. Kuzmenko  
V. Kireev

*Summary.* Knowledge graphs are an important tool for improving recommendation systems, information retrieval systems, and question-and-answer systems. One of the ways to build them based on the corpus of natural language texts is to extract relational triples — entities and relationships between them. This article explores the RISC model previously proposed by the authors, based on a BERT-like encoder and allowing to solve the problem of extracting triples with high performance. The authors conducted a study of the ablation of the RESC model on a key set of NYT 11 texts. The optimal architecture parameters were determined and the most effective learning strategy was identified.

*Keywords:* relational triple, neural network, natural language processing, transformers, knowledge graphs.

**Кузьменко Андрей Владимирович**

аспирант, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
andrey\_kuzmenko2907@mail.ru

**Киреев Василий Сергеевич**

кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
vskireev@mephi.ru

*Аннотация.* Важным инструментом совершенствования рекомендательных систем, систем информационного поиска и вопрос-ответных систем являются графы знаний. Одним из способов их построения по корпусу текстов на естественном языке является извлечение реляционных троек — сущностей и связей между ними. В данной статье исследуется ранее предложенная авторами модель RESC, основанная на BERT-подобном кодировщике и позволяющая решать задачу извлечения троек с высокой производительностью. Авторами было проведено исследование абляции модели RESC на ключевом наборе текстов NYT 11. Были определены оптимальные параметры архитектуры и выявлена наиболее эффективная стратегия обучения.

*Ключевые слова:* реляционная тройка, нейронная сеть, обработка естественного языка, трансформеры, графы знаний.

### Актуальность

Обработка текстов на естественном языке является одним из самых бурно растущих направлений в области искусственного интеллекта. Базовой задачей обработки текстов является извлечение информации. Один из наиболее удобных форматов представления извлеченной текстовой информации является граф знаний [1]. Представимая в такой форме информация является надежной основой для построения и совершенствования рекомендательных систем, систем информационного поиска, вопросно-ответных систем.

Граф знаний состоит из вершин — набора сущностей, как правило, представимых в виде субъекта и объекта, а также ребер — связей между сущностями. Реконструкция графа знаний по коллекции текстовых документов, обычно, сводится к поиску минимальных подграфов — реляционных троек. Реляционная тройка — это набор из двух сущностей и отношения между ними.

Синтез современной системы извлечения реляционных троек включает в себя большое количество факторов, ключевыми из которых являются выбор модели, настройка модели под текущий домен, сбор данных. В данной работе проводится абляционное исследование архитектуры RESC, предложенной авторами, и предлагается оптимизация, ускоряющая работу RESC.

### Цель работы

Целью данной работы является синтез оптимальной архитектуры модели RESC, основанной на нейросетевой трансформерной архитектуре и предназначенной для извлечения реляционных троек из корпуса текстов на естественном языке, а также поиск стратегии обучения.

### Состояние проблемы

Задачу извлечения реляционных троек или совместного извлечения сущностей и отношений можно сформулировать как поиск набора тройных множеств  $Y = \{(s_1, r_1, o_1), (s_2, r_2, o_2), \dots, (s_k, r_k, o_k)\}$ , извлеченного из текстового документа  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ , в результате решения уравнения:

$$p(Y|X, \theta) = p(k|X) \prod_{i=1}^k p(Y_i|X, Y_{i \neq j}, \theta), \quad (1)$$

где  $s_i = [x_{s_i}^{start}, \dots, x_{s_i}^{end}]$  — субъект отношения;  $o_i = [x_{o_i}^{start}, \dots, x_{o_i}^{end}]$  — объект отношения;  $r_i$  — тип семантической связи между  $s_i$  и  $o_i$  из фиксированного набора  $r = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ ;  $p(k|X)$  — моделирует размер набора

ра реляционных троек;  $p(Y_i | X, Y_{i \neq j}, \theta)$  — моделирует тройку  $Y_i$ , при условии, что она связана не только с предложением  $X$ , но и с другими тройками  $Y_{i \neq j}$ ;  $\theta$  — параметры модели.

Авторы в [2] предлагают следующую классификацию методов извлечения реляционных троек: (1) конвейерные методы — технология, состоящая из двух четко разграниченных этапов: извлечение сущностей, определение отношений [3–5]; (2) табличные методы — поиск сущностей трансформируется в задачу заполнения квадратной матрицы, оси которой — слова в предложении, а их пересечение — тип отношения [6]; (3) методы использующие дополнительную маркировку [8]; (4) генеративные методы, среди которых отдельно выделены авторегрессионные [9,10].

Исследуемая модель RESC (см. рис. 1), находится на пересечении конвейерных и генеративных подходов. В RESC стадия поиска сущностей является вспомогательной, а в качестве основного вычислительного модуля используется одна модель — BERT [10], что существенно увеличивает скорость отклика системы. RESC обладает гибкостью в настройке модели выражается в простой отладке каждой из компонент: общего кодировщика, модуля извлечения сущностей, модуля идентификации отношений. В случае обнаружения проблемных мест пользователь может регулировать результирующее качество модели путем влияния на каждый из модулей, изменяя архитектуру или процесс обучения.

Другим свойством исследуемой архитектуры является возможность обучения каждой из компонент модели по отдельности, используя разные наборы данных. На-

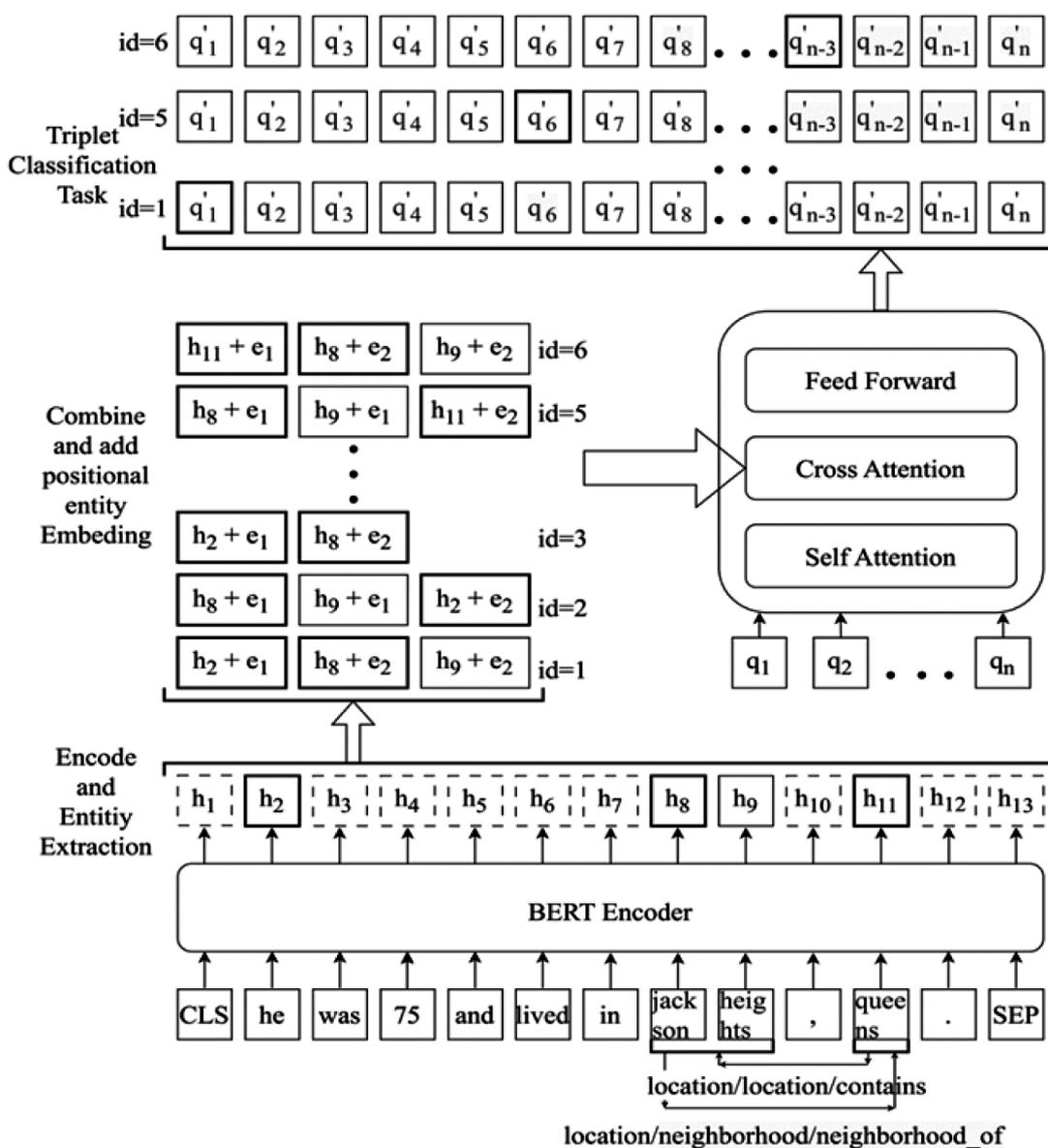


Рис. 1. Архитектура RESC

пример, если есть размеченный набор данных с реляционными тройками, то можно обучать с его помощью как модуль извлечения сущностей, так и модуль идентификации отношений. Однако такие наборы довольно дорогостоящие, поскольку требуют от ассессоров следовать довольно сложной инструкции. RESC же дает возможность обучать модуль идентификации сущностей, используя наборы данных, в которых размечены только сущности. Во-первых, таких публичных наборов данных существенно больше, а во-вторых, разметка сущностей существенно проще, чем разметка реляционных троек.

### Стадии RESC

В RESC можно выделить три стадии: отбор кандидатов — фильтрация заведомо неверных кандидатов; формирование кандидатов — этап формирования пар сущностей; классификационные отношения — идентификационные отношения между сущностями.

**Формирование кандидатов.** Последовательность текстовых токенов  $x = \{x_0, x_1, \dots, x_k\}$  кодируется предобученной моделью типа BERT в последовательность векторных представлений  $h = \{h_0, h_1, \dots, h_k\}$ . Из векторных представлений формируются все возможные подстроки — сущности-кандидаты. Каждая из сущностей — это потенциальный субъект  $\{h_{start}^{sub}, \dots, h_{end}^{sub}\}$  или объект  $\{h_{start}^{obj}, \dots, h_{end}^{obj}\}$  отношения. Операция сжатия последовательности осуществляет конкатенацию субъекта-кандидата и объекта-кандидата  $\{h_{start}^{sub}, \dots, h_{end}^{sub}, h_{start}^{obj}, \dots, h_{end}^{obj}\}$  для создания кандидатов-триплетов. Она позволяет извлекать отношение между этими сущностями напрямую, путем решения простейшей классификационной задачи.

Важной частью сжатия последовательности является позиционное кодирование сущностей, в качестве способа учета позиций последовательности векторов. Расположение сущностей предлагается учитывать при помощи двух обучаемых вспомогательных векторов  $e_0, e_1$ , преобразуя сжатую последовательность  $\{h_{start}^{sub} + e_0, \dots, h_{end}^{sub} + e_0, h_{start}^{obj} + e_1, \dots, h_{end}^{obj} + e_1\}$ . Так, для субъекта «he» и объекта «Jackson heights» последовательность векторных представлений выглядит как  $\{h_1 + e_0, h_7 + e_1, h_8 + e_1\}$ .

Вектора позиционного кодирования являются также обучаемыми, поскольку они имеют такую же размерность, как и размерность позиционированного кодирования в модели BERT, их можно инициализировать не случайно, а использовать ранее предобученные в модели BERT вектора, отвечающие за связность текстовых фрагментов.

**Отбор кандидатов.** Критичной проблемой жадного перебора являются составные сущности, которые включают два и более токенов. В таком случае, количество сущностей-кандидатов будет иметь сложность  $O(S*N)$ , где  $S$  длина текста в токенах, а  $N$  — максимальная длина подстроки. При этом количество комбинаций кандидатов-триплетов будет вычисляться, как число размещений  $\frac{n!}{(n-2)!}$ , где  $n$  — количество найденных сущностей.

Нетрудно видеть, что при  $S \rightarrow N$  оценка сложности составляет  $O(N^4)$ . Такая сложность мотивирует использовать вспомогательный модуль идентификации сущностей. Он решает простую задачу, которая является практически полным аналогом известной задачи извлечения именованных сущностей.

Каждый вектор  $h_i$  преобразуется при помощи линейной проекции и решается классическая задача классификации на три класса: 0 — не является частью сущности, 1 — начало сущности, 2 — является частью сущности, но не первый элемент. В результате решения этой задачи сложность преобразуется из  $O(N^4)$  в  $O(N^2)$ . Этап определения границ сущностей иллюстрирован на рисунке 1. Если вектор выделен  $h_i$  в сплошной жирной обводке (2) — модель определила его как начало сущности, если в сплошной обводке (1) — продолжение сущности, пунктир (0) — не является фрагментом сущности.

**Классификация отношений.** Для определения типа отношений используется подход, предложенный в [11, 12]. Инициализируется набор обучаемых векторов запросов  $q = \{q_0, q_1, \dots, q_n\}$ , где  $n$  количество отношений. Эти вектора передаются в трансформер блок, который связан механизмом перекрестного внимания с кандидатами-триплетами. Под действием механизма перекрестного внимания вектора-запросы преобразуются в вектора сигналы  $q' = \{q'_0, q'_1, \dots, q'_n\}$ . Для каждого вектора-сигнала решается бинарная задача классификации. Такой подход решает проблему множественных отношений, когда между одной парой сущности существует несколько типов отношений.

### Обучение модели

RESC обладает двумя механизмами принятия решений: модуль извлечения сущностей и модуль идентификации отношения. Для обучения такой системы была использована комбинированная функция потерь:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_E + \lambda \mathcal{L}_R \rightarrow \min \quad (2)$$

Компонента  $\mathcal{L}_E$  отвечает за решения задачи определения сущностей-кандидатов. Минимизируя это слагаемое, определяется принадлежность каждого из токенов

к одному из трех классов: 0 — не сущность, 1 — начало сущности, 2 — продолжение сущности. Вычисление этого слагаемого можно записать в следующем виде:

$$\mathcal{L}_e = -\frac{1}{B_e * S} \times \sum_i \sum_j \log \frac{\exp(h_i^e) * 1[y_i^e \neq ignore\_index] * 1[y_i^e \neq pad\_index]}{\sum_{k=0}^2 \exp(h_k^e)} \quad (3)$$

где  $1[y_i^e \neq ignore\_index]$  — игнорирование результатов на целевых метках;  $1[y_i^e \neq pad\_index]$  — игнорирование результатов на дополненных последовательностях;  $B_e$  — размер пакета;  $S$  — длина максимальной последовательности в пакете.

Компонента  $\mathcal{L}_R$  отвечает за решения задачи идентификации типа отношения преобразованной последовательности из двух сущностей. Это задача бинарной мультиклассовой (англ. multi-label) классификации, которую можно записать в следующем виде

$$\mathcal{L}_R = -\sum_i \sum_j \sum_k \{y_k^r \log \hat{y}_k^r + (1 - y_k^r) \log (1 - \hat{y}_k^r)\} \quad (4)$$

где  $B_r$  — размер пакета текстов;  $N_i$  — количество размещений, которые можно вычислить как  $\frac{n!}{(n-2)!}$ , где  $n$  — количество сущностей, определенных в тексте;  $N_r$  — количество отношений;  $y_k^r$  — метка класса  $k$ : 0 — сущности не обладают данной связью, 1 — сущности обладают данной связью;  $\hat{y}_k^r$  — оценка полученных значений вероятности принадлежности к классу  $k$ .

Для контроля значимости каждой из компонент вводится дополнительный гиперпараметр  $\lambda$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Фреймворк RESC состоит из трех основных обучаемых компонент: общий кодировщик, модуль извлечения сущностей и модуль идентификации отношений. План экспериментов предполагал изменение архитектуры и стратегии обучения. При модификации каждого из трех обучаемых модулей, использованы компоненты двух других из базового сценария архитектуры модели. Как показали эксперименты, обучение модели RESC довольно стохастичный процесс. В первую очередь это связано со случайной инициализацией группы весов модели. Чтобы повысить достоверность наших наблюдений, каждый из экспериментов был проведен три раза, полученные результаты усреднялись.

*Базовый сценарий архитектуры.* В качестве базовой модели кодировщика использован bert-base-uncased [10]. В качестве модуля извлечения сущностей — линей-

ная проекция, размерности которой согласуются с выходом кодировщика. Компонента идентификации отношений включает несколько составляющих: вектора запросов  $q$ , вектора позиционного кодирования  $e$ , трансформерный блок, классификатор, представленный в виде линейной проекции. Все ключевые размерности блока также согласованы с размерностью базового кодировщика. Инициализация векторов  $q$  производилась случайным образом, а вектора позиционного кодирования  $e$  инициализированы векторами позиционного кодирования из кодировщика типа BERT.

*Базовый сценарий обучения.* Обучение RESC производится в две стадии. На первой веса кодировщика не корректируются, обучаются модули извлечения сущностей и идентификации отношений. В таком режиме сигналы каждой из задач никак не влияют друг на друга. Каждая из частей учится независимо от другой. Авторами было сделано предположение, что это помогает избежать сильных всплесков градиента на ранних стадиях обучения модели и достигнуть более устойчивого состояния, что в свою очередь позволяет более бережно работать с информацией, которую выучил кодировщик на стадии предварительного обучения на задачу максимизированного языкового моделирования (англ. Masked language modeling).

Обучение первой стадии выполнялось до тех пор, пока значение  $f$  меры каждой из задач не выходит на плато. На наборе данных NYT это достигалось за менее 10 эпох со скоростью обучения  $1e-4$ . На второй стадии корректируются все параметры модели в течении 5 эпох со скоростью обучения  $1e-4$ , после скорость обучения уменьшалась до  $1e-5$  модель обучается 5 эпох.

На всех этапах обучения был использован хорошо показавший себя на практике оптимизатор AdamW [13]. В качестве гиперпараметров использованы следующие значения:  $B_e$ : 32,  $B_r$ : 32,  $\lambda$ :1, Learning rate (1 стадия):  $1e-4$ , Learning rate (2 стадия):  $1e-4$ ,  $1e-5$ ,  $B1$ ,  $B2$ : 0.9; 0.999, Weight decay: 0.01.

### Данные и методы исследования

Для экспериментов был использован открытый набор данных NYT [14] адаптированный под задачу извлечения реляционных троек публичный набор данных [15]. В наборе данных 24 типа уникальных отношений. Он содержит более 60 тыс. текстов, более 177 тыс. отношений и более 121 тыс. сущностей, и разбит на тренировочную, валидационную и тестовую части.

### Модуль извлечения сущностей

Модуль извлечения сущностей — это механизм принятия решений, задача которого определить принадлеж-

ность токена к одному из трех классов: 0 — токен не является частью сущности, 1 — токен является началом сущности, 2 — токен является продолжением сущности. Эксперименты проводились с двумя архитектурами: многослойная полносвязная сеть с нелинейностью GELU (англ. Gaussian Error Linear Units) [16] и аналогичной сетью, используемой в кодировщике, трансформерной.

Полносвязные сети позволяют наиболее просто вносить изменение в архитектуру модуля извлечения сущностей за счет наращивания линейных слоев в комбинации с нелинейностями. Эксперименты проводились с типами архитектур из следующего набора: {768,3; 768,10,3; 768,50,3; 768,100,3; 768,768,3; 768,768,3; 768,768,10,3; 768, 768,100,3; 768,768,768,3}. Первое число каждой последовательности — размерность входа данного модуля, последнее число — размер выхода, совпадающий с количеством классов, промежуточные числа — размерности скрытых представлений. Так, последовательность 768,768,10,3 означает, что данный модуль содержит три полносвязных слоя с размерностями [768x768], [768x10], [10x3].

Усложнение архитектуры через наращивание числа слов и вместе с тем, числа параметров, позволяет существенно улучшить качество как отдельно задачи извлечения сущностей, так и финальной задачи — извлечения реляционных троек.

*Трансформерные слои.* Другая ветка наших экспериментов основана на более сложной архитектуре трансформера. Трансформерные архитектуры, как правило, удобно описывать блоками, состоящими из ряда слоев. В качестве такого блока использован блок, идентичный тому, который используется в кодировщике RESC. Схема данного блока показана на рисунке 2. Он включает блок самовнимания (англ. Self-attention), ряд линейных проекций, нормирований векторов (англ. Layer norm), прореживания (англ. Dropout), а также нелинейности GELU [16,17].

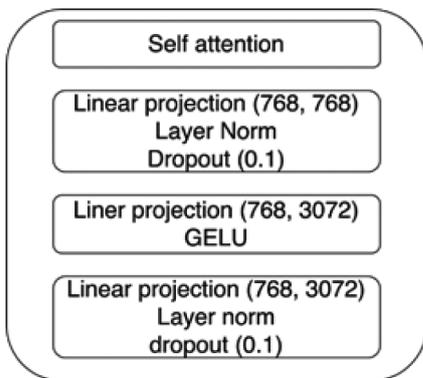


Рис. 2. Трансформерный блок

Авторы проводили свои эксперименты, наращивая число таких блоков от 1 до 3 включительно. Гомоген-

ность кодировщика и модуля извлечения сущностей позволяет производить инициализацию параметров с блока кодировщика, а не начинать обучение со случайных весов, что предположительно существенно могло бы улучшить сходимость модели. Инициализация весов проводилась в аналогичном порядке, как это реализовано в кодировщике. В случае двух блоков, первый блок будет инициализирован весами предпоследнего блока, а второй блок — последним блоком кодировщика RESC.

На рисунках 3а, 3б иллюстрированы эксперименты в конце первой стадии обучения. По оси  $x$  отображено количество параметров модуля извлечения сущностей в логарифмическом масштабе. По оси  $y$  — значение  $f$  меры для задач извлечения сущностей и реляционных троек соответственно. Результаты этих экспериментов отображены в следующем формате, указано число блок  $K$  (BERT  $\times K$ ), а также способ инициализации. Если используется инициализация при помощи весов кодировщика добавляется суффикс `init`.

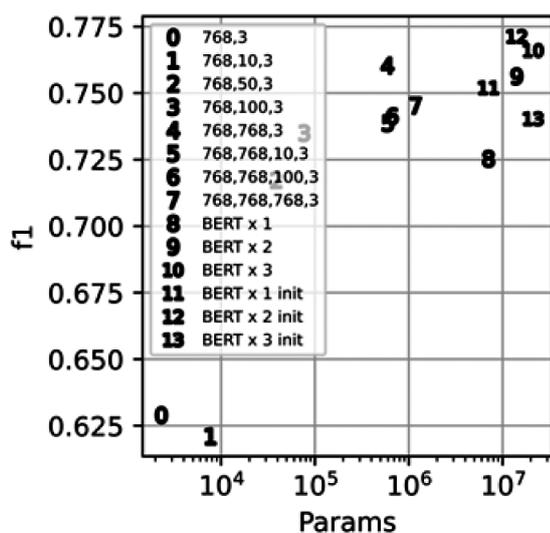
На рисунках явно наблюдается зависимость качества от числа параметров, особенно сильно это проявляется для финальной задачи извлечения реляционных троек. На рисунках 3в, 3г показаны результаты второй стадии обучения. На эти рисунках уже отсутствует какая-либо закономерность качества извлечения сущностей, так и качества извлечения реляционных троек.

Результаты экспериментов демонстрируют сильную зависимость  $f$  меры извлечения отношений и реляционных троек на первой стадии обучения. Однако, эта положительная тенденция полностью исчезает во время второй стадии обучения, или даже вовсе приводит к небольшой деградации качества. Видна целесообразность изменения архитектуры этого блока только в случае, когда есть жесткое ограничение на корректировку весов кодировщика. В остальных случаях оптимальной архитектурой является наиболее простая — линейная проекция.

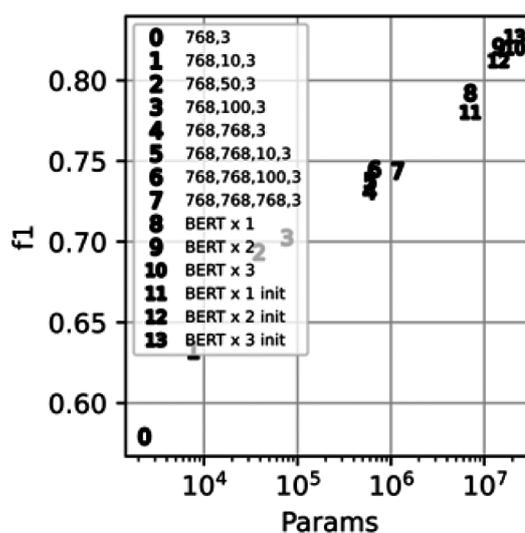
### Модуль идентификации отношений

Модуль идентификации отношений обладает более сложным строением в сравнении с модулем извлечения сущностей. Он включает вектора запросов  $q$ , вектора позиционного кодирования  $e$ , трансформерный блок — преобразователь информации из сжатой последовательности в вектора сигналов  $q'$ , механизм принятия решений. Авторы проводили эксперименты над каждой составляющей этого модуля, сравнивая два ключевых показателя: качество идентификации отношения при условии, что в модель переданы истинные сущности; качество извлечения реляционных троек от начала до конца.

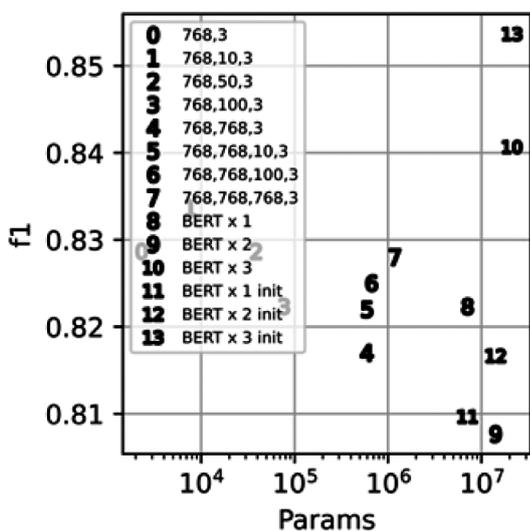
Наиболее очевидный этап — наращивание трансформерных блоков. Однако, эксперименты показали,



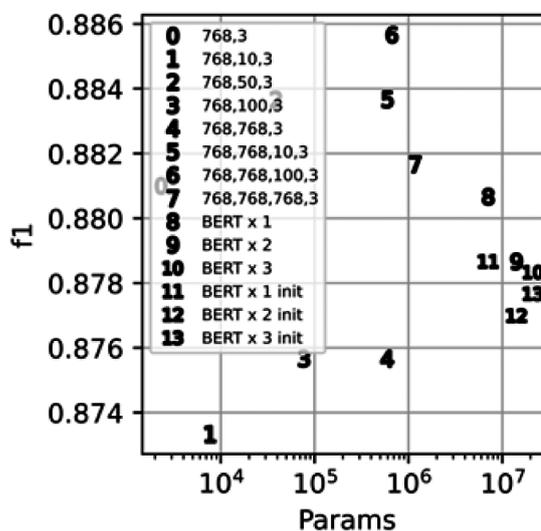
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Модификация модуля извлечения сущностей:

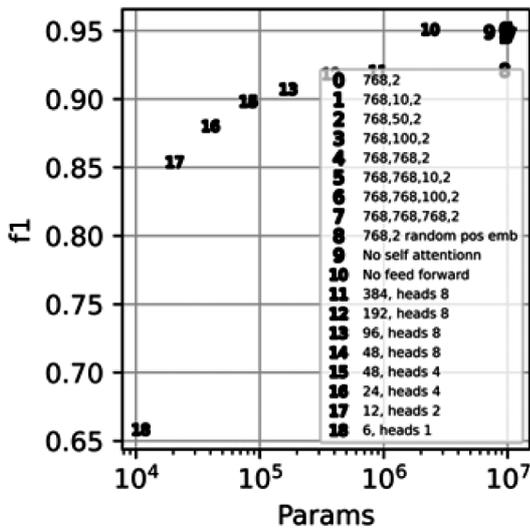
а) качество извлечения сущностей после первой стадии обучения; б) качество извлечения реляционных троек после первой стадии обучения; в) качество извлечения сущностей после второй стадии обучения; г) б) качество извлечения реляционных троек после второй стадии обучения

что их увеличение существенно ухудшает качество модели. При двух блоках модель во время обучения на первой стадии достигала максимальное качество на третьей эпохе обучения, далее же существенно теряла свою прогнозную способность с каждой эпохой. При наличии трех и более блоков наблюдалась, что неработоспособность модели и нулевые показатели  $f$  меры.

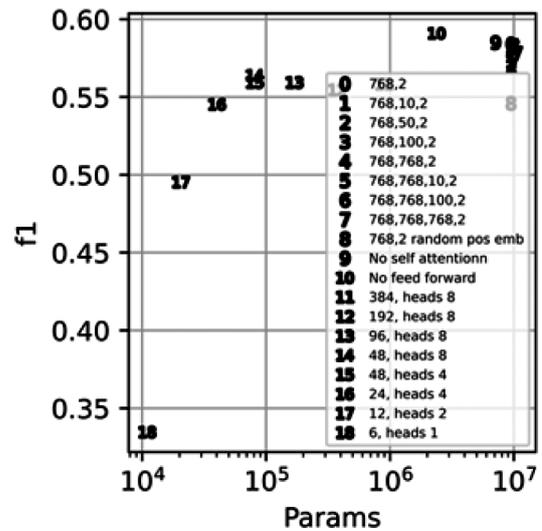
Аналогично проводимым экспериментам с механизмом принятия решений модуля извлечения сущностей, усложнялась архитектура механизма принятия решения модуля идентификации отношения наращивая полносвязные слои, с использованием того же ряда архитектур. В отличие от модуля извлечения сущностей, стати-

стически значимых изменений от сложности механизма принятия решений не наблюдается, как в конце первой стадии обучения, так и в конце второй. Предположительно, это было связано с существенно большим набором обучаемых параметров данного модуля. Их количества достаточно, чтобы учесть всю информацию из обучающего набора данных. Именно поэтому, изменения качества не происходит даже после первой стадии обучения. Это поведение иллюстрировано на рисунках 4а, 4б, 4в, 4г.

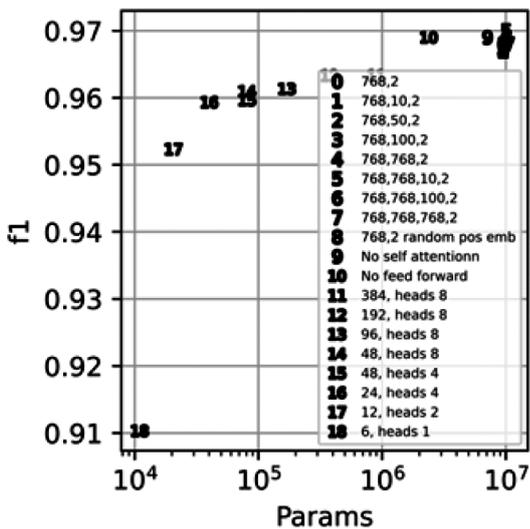
Проведя эксперимент со случайной инициализацией векторов позиционного кодирования  $e$  «768,2 random pos emb», наблюдалось незначительно ухудшение качества в конце первой стадии обучения базового эксперимента



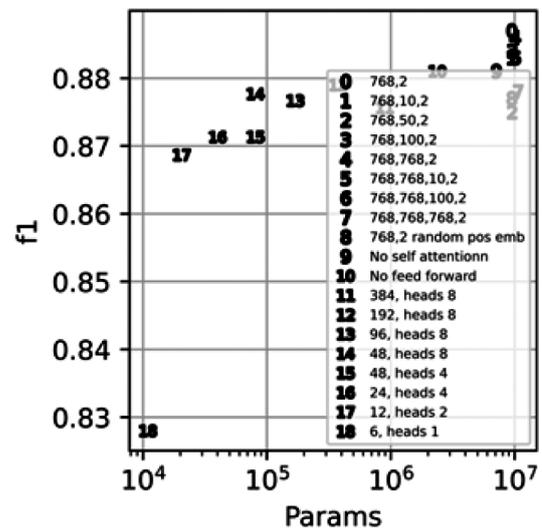
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Модификация модуля идентификации отношений:

- а) качество идентификации отношений после первой стадии обучения; б) качество извлечения троек после первой стадии обучения;
- в) качество идентификации отношений после второй стадии обучения; г) качество извлечения реляционных троек после второй стадии обучения

«768,2». Однако на второй стадии обучения изменения пропадают. Это иллюстрируют рисунки 4а, 4б, 4в, 4г.

Второе направление исследований модуля идентификации сущностей было направлено на оптимизацию архитектуры. В первую очередь проводились эксперименты исключая блок самовнимания. Как показали эксперименты, его наличие или отсутствие никак не влияет на конечный результат, что иллюстрируют рисунки 4а, 4б, 4в, 4г. Все дальнейшие эксперименты проводились без данного блока. Следующая оптимизация архитектуры была связана с наиболее параметросодержащим блоком feed-forward. При устранении данного блока не наблюдалось значимых изменений.

Заключительный этап оптимизаций применяется к блоку cross-attention. Этот блок представляет собой блочный механизм внимания (англ. Multi-head attention) [16] Почти вся масса обучаемых параметров в данном блоке сосредоточена в четырех матрицах весов:  $W_{\alpha}$  — матрица контекста,  $W_q$  — матрица ключей,  $W_v$  — матрица запросов,  $W_{out}$  — матрица выхода, финальная проекция из скрытого представления в вектор ответов. Операции в блоке cross-attention можно записать в следующем виде:

$$CrossAttention(q, H) = [head_1, \dots, head_n] \times W_{out} \quad (5),$$

где  $head_i = Attention(q \times W_c^i, h_q W_q^i, h_q W_v^i)$  — выход с  $i$  блока механизма внимания;  $h_q = \{h_{start}^{sub} + e_0, \dots, h_{end}^{sub} + e_0, h_{start}^{obj} + e_1, \dots, h_{end}^{obj} + e_1\}$  — сжатая последовательность векторов.

Размеры матриц  $W_q$  и  $W_v$  равны размерности выхода кодировщика и скрытому представлению соответственно,  $W_c$  — размерности векторов запросов  $q$  и скрытой размерности,  $W_{out}$  — скрытой размерности и размерности векторов запросов соответственно. Авторами сделано допущение, что размерность  $q$  совпадает с скрытой размерностью, и далее в экспериментах проводится калибровка ее значения.

Эксперименты показали, что при размерности в несколько десятков деградация качества практически не происходит, что иллюстрируют рисунки 4а, 4б, 4в, 4г. Однако, если количество параметров становится ниже десяти, наблюдалось явное ухудшение показателей точности. Такие результаты мы связываем с довольно небольшим набором обучающих данных.

**Кодировщик**

Заключительным этапом исследования является анализ кодировщика модели. Для сравнения были использованы пять различных кодировщиков. Поскольку сущности как правило представимы в виде именованных объектов, исследуются как модели инвариантные к регистру, так и модели, использующие эту информацию. В таблицах 1 и 2 сведены результаты обучения в конце первой стадии и второй стадии соответственно.

Кроме экспериментов с архитектурой, исследуются различные стратегии второй стадии обучения. За основу была взята модель Bert-base-uncased, с которой производилась первая стадия тренировки. Авторы предлагают четыре направления для второй стадии. Первая — обучение всех весов кодировщика со скоростью обучения  $1e-5$ . Вторая — обучение всех весов модели 13 эпох со скоростью обучения  $1e-4$  и 5 эпох со скоростью обучения  $1e-5$ . Третья — поблочное обучение, при котором на каждой  $N$  эпохе корректируются  $N$  последних трансформерных блоков кодировщика начиная последнего со скоростью обучения  $1e-4$ . При  $N=13$  одну эпоху корректируются все веса кодировщика со скоростью обучения  $1e-4$ . После 13 эпох скорость обучения снижается до  $1e-5$  и модель обучается еще 5 эпох. Заключительная стратегия аналогична третьей, но используется постоянная скорость обучения  $1e-5$ .

На рисунке 5 продемонстрированы изменение качества извлечения реляционных троек в зависимости от эпохи обучения. Можно пронаблюдать, что наиболее эффективной оказалась первая стратегия.

Таблица 1.

Результаты обучения в конце первой стадии

	Params	F1 entity extraction	F1 Relation identification	F1 Triplet extraction
Bert-tiny-uncased	4.4	0.455	0.828	0.283
Bert-base-uncased	109.5	0.629	0.92	0.571
Bert-large-uncased	333.5	0.467	0.902	0.454
Bert-base-cased	108.3	0.563	0.918	0.574
Bert-large-cased	333.5	0.497	0.921	0.538

Таблица 2.

Результаты обучения в конце второй стадии

	Params	F1 entity extraction	F1 Relation identification	F1 Triplet extraction
Bert-tiny-uncased	4.4	0.838	0.928	0.735
Bert-base-uncased	109.5	0.805	0.962	0.879
Bert-large-uncased	333.5	0.896	0.954	0.878
Bert-base-cased	108.3	0.761	0.959	0.885
Bert-large-cased	333.5	0.888	0.963	0.884

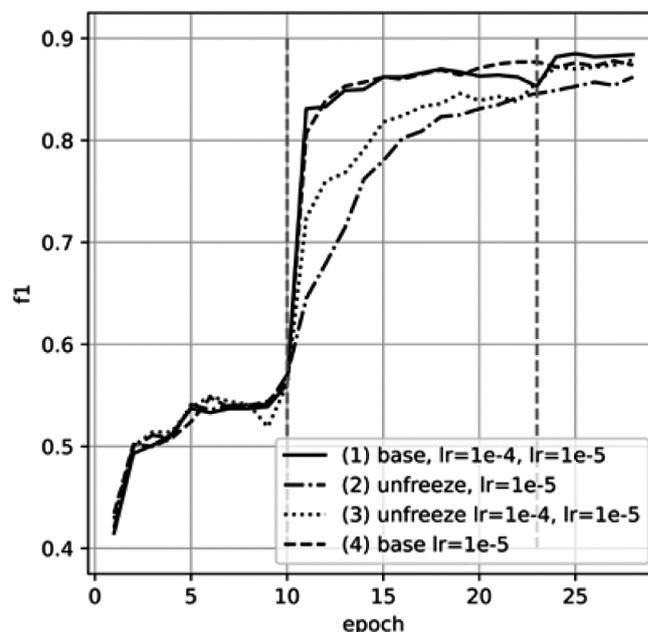


Рис. 5. Сравнение стратегий обучения

**Заключение**

В данной работе проведено абляционное исследование трансформерной архитектуры RESC. Проведены эксперименты с каждым из ее ключевых модулей. В ре-

зультате исследования были предложены корректировки модели, позволяющие повысить качество извлечения реляционных троек из текстов на естественном языке. Кроме того, были предложены корректировки, упрощающие архитектуру модели, что позволяет ускорить модель без потери качества. Исследованы различные

стратегии обучения RESC. В настоящей работе все эксперименты проводились с фиксированным публичным набором данных NYT11, однако на практике, частая проблема — поиск достаточного набора данных. В своих будущих работах авторы планируют исследовать RESC в различных сценариях относительно набора данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang J.C., et al. A review of recommender systems based on knowledge graph embedding // *Expert Systems with Applications*. — 2024. — Vol. 250. — P. 123876.
2. Кузьменко А.В., Киреев В.С. Классификация методов извлечения реляционных троек из текстов на естественном языке // *Сб. науч. тр. XXV Междунар. науч.-техн. конф. «Нейроинформатика-2023»*. — М., 2023. — С. 302–311.
3. Zenilko D., Aone C., Richardella A., et al. Kernel methods for relation extraction // *Journal of Machine Learning Research*. — 2003. — Vol. 3. — P. 1083–1106.
4. Chan S.Y., Roth D. Exploiting syntactico-semantic structures for relation extraction // *Proc. 49th Annu. Meet. Assoc. Comput. Linguistics: Human Lang. Technol.* — 2011. — P. 551–560.
5. Zhong Z., Chen D.A. A frustratingly easy approach for entity and relation extraction // *Proc. 2021 Conf. North Amer. Chapter Assoc. Comput. Linguistics: Human Lang. Technol.* — 2021. — P. 50–61.
6. Zhang M., Zhang Y., Fu G. End-to-End Neural Relation Extraction with Global Optimization // *Proc. 2017 Conf. Empirical Methods in Natural Lang. Process.* — 2017. — P. 1730–1740.
7. Wei Z., Su J., Wang Y., et al. A Novel Cascade Binary Tagging Framework for Relational Triple Extraction // *Proc. 58th Annu. Meet. Assoc. Comput. Linguistics*. — 2020. — P. 1476–1488.
8. Sui D., Chen Y., Liu K., et al. Joint entity and relation extraction with set prediction networks // *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.* — 2024. — P. 12784–12795.
9. Yuan C., Xie Q., Ananiadou S. Zero-shot Temporal Relation Extraction with CharGPT // *22nd Workshop Biomedical Natural Lang. Process. BioNLP Shared Tasks*. — 2023. — P. 92–102.
10. Delvin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: pre-training of deep bidirectional transformer for language understanding // *Proc. 2019 Conf. North Amer. Chapter Assoc. Comput. Linguistics: Human Lang. Technol.* — 2019. — P. 4171–4186.
11. Li J., Li D., Savarese S., Hoi S. BLIP-2: bootstrapping language-image Pre-Training with frozen image encoders and large language models // *Proc. 40th Int. Conf. Mach. Learn.* — 2023. — P. 19730–19742.
12. Zhao H., Xin Y., Yu Z., et al. SLIT: boosting audio-text pre-training via multi-stage learning and instruction tuning. — 2024. — URL: <https://www.catalyzex.com/paper/slit-boosting-audio-text-pre-training-via>. (дата обращения: 20.01.2025).
13. Loshchilov I., Hutter F. Decoupled weight decay regularization // *Proc. 7th Int. Conf. Learn. Represent.* — 2018. — URL: <https://openreview.net/pdf?id=Bkg6RiCqY7>. (дата обращения: 20.01.2025).
14. Riedal S., Yao L., McCallum A. Modeling relations and their mentions without labeled text // *Mach. Learn. Knowl. Discov. Databases*. — 2010. — P. 148–163.
15. Zeng X., Zeng D., He S., et al. Extracting relational facts by an end-to-end neural model with copy mechanism // *Proc. 56th Annu. Meet. Assoc. Comput. Linguistics*. — 2018. — Vol. 1. — P. 506–514.
16. Hendrycks D., Gimpel K. Gaussian error linear units (GELUs). — URL: <https://arxiv.org/pdf/1606.08415>. (дата обращения: 20.01.2025).
17. Ni S., Yang M., Xu R., Li C., Hu X. Layer-wise Regularized Dropout for Neural Language Models // *arXiv preprint*. — 2024. — eprint 2402.16361. — URL: <https://arxiv.org/abs/2402.16361> (дата обращения: 20.01.2025).

# ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ ПОДХОДОВ В СЕМАНТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

## APPLICATION OF GENERATIVE APPROACHES IN SEMANTIC ANALYSIS OF NATURAL LANGUAGE TEXTS

A. Kuzmenko  
V. Kireev

*Summary.* It is estimated that about 80 % of corporate data is unstructured, which makes it difficult to process and analyze it using traditional methods. Extracting relationships between entities from this data in the form of relational triples allows you to transform unstructured information into a structured form, facilitating access, analysis, and use of knowledge. The paper examines modern approaches to extracting relational triples from natural language texts based on sequence transformation technology. The authors have identified and structured the existing solutions into a set of groups of methods: classical sequence transformation methods, sequence transformation methods into sets, and prompt methods. A comparative analysis of the advantages and disadvantages of these methods is carried out. A methodology for building an auxiliary system for extracting relational triples is proposed.

*Keywords:* relational triple, neural network, natural language processing, transformers, seq-to-seq, set-to-seq, large language models.

**Кузьменко Андрей Владимирович**  
аспирант, Национальный исследовательский  
ядерный университет «МИФИ»  
andrey\_kuzmenko2907@mail.ru

**Киреев Василий Сергеевич**  
кандидат технических наук, доцент, Национальный  
исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
vskireev@mephi.ru

*Аннотация.* По оценкам, около 80 % корпоративных данных являются неструктурированными, что затрудняет их обработку и анализ традиционными методами. Извлечение отношений между сущностями из этих данных в форме реляционных троек позволяет преобразовать неструктурированную информацию в структурированную форму, облегчая доступ, анализ и использование знаний. В работе рассматриваются современные подходы извлечения реляционных троек из текстов на естественном языке, основанные на технологии преобразования последовательностей. Авторами выделены и структурированы существующие решения в набор групп методов: классические методы преобразования последовательностей, методы преобразования последовательностей в множество и prompt-методы. Проводится сравнительный анализ преимуществ и недостатков этих методов. Предлагается методология построения вспомогательной системы извлечения реляционных троек.

*Ключевые слова:* реляционная тройка, нейронная сеть, обработка естественного языка, seq-to-seq, set-to-seq, большие языковые модели.

### Актуальность

Реляционная тройка представляет собой каркас предложения или некоторого текстового фрагмента в форме субъекта, объекта и отношения между ними. Сущности, представленные субъектом и объектом — это люди, организации, местоположения и другие. Отношения — человек-принадлежность, организация-местоположение, например, конкретное лицо может быть аффилировано с определенной организацией. Как правило, набор отношений имеет фиксируемый размер, однако, существуют методы извлечения реляционных троек, способные убирать это ограничение.

Целью извлечения реляционных троек является идентификация всех возможных троек в данном предложении или тексте. Более формально, для предложения или фрагмента текста  $s = \{s_1, \dots, s_n\}$  требуется смоделировать условную вероятность целевых тройных множеств [1-2]  $Y = \{(s, r_1, o_1), \dots, (s, r_k, o_k)\}$ .

$$p(Y | s, \theta) = p_L(n | s) \prod_{i=1}^n p(Y_i | s, Y_{j \neq i}, \theta) \quad (1)$$

где  $p_L(n|s)$  — моделирует размер набора реляционных троек;  $p_i(Y_i | s, Y_{j \neq i}, \theta)$  — моделирует тройку, при условии, что она связана не только с предложением, но и с другими тройками  $Y_{j \neq i}$ ; — параметры модели.

Современные технологии, такие как семантический веб, онтологии и базы знаний, требуют точного и структурированного представления информации [3]. Извлечение реляционных троек является фундаментальным шагом в построении таких структур, обеспечивая семантическое обогащение данных и улучшая качество информационного поиска. Кроме того, это способствует развитию интеллектуальных агентов и чат-ботов, способных понимать и генерировать осмысленные ответы на основе извлеченных знаний. Продолжение исследований в этой области способствует созданию более совершенных алгоритмов и методов, способных удов-

летворить растущие потребности различных отраслей в качественной и оперативной обработке информации.

**Цель работы**

Целью данной работы является выявление и сравнительный анализ существующих подходов к извлечению реляционных троек. В дальнейшем эти результаты предполагается использовать для совершенствования методов суммаризации и семантического анализа текстов на естественном языке.

**Состояние проблемы**

Существующие подходы к извлечению реляционных троек разделяют на четыре парадигмы [2–3]: (1) конвейерные методы [1, 2, 4–6], (2) табличные методы [7–10], (3) методы использующие дополнительную маркировку текстовых последовательностей; (4) методы на основе преобразования последовательностей [11–13]. В работе предлагается модификация данной классификации. А именно замена методов на основе преобразования последовательностей на группу генеративных методов, которая охватывает большее количество решений и отражает фундаментальные принципы, заложенные в построении такого рода систем. Группу генеративных методов предлагается разделить на классические методы преобразования последовательностей (seq-to-seq), методы преобразования последовательностей в множество (seq-to-set), prompt-методы. В работе продемонстрирована каждая из подгрупп, выделены их преимущества и недостатки.

**Классические методы преобразования последовательностей**

Развитие классических методов преобразования последовательностей пошло с задачи извлечения перекрывающихся отношений [14]. Реализуются такого рода системы, как правило, в виде кодировщик-декодер архитектур, например архитектура CopyRL [15].

Кодировщик CopyRL преобразует предложение  $s = [w_1, \dots, w_n]$ , где  $w_i$  —  $i$ -е слово, а  $n$  — длина предложения, в векторные представления при помощи двунаправленной рекуррентной сети Bi-LSTM. Для каждого  $i$ -го слова формируется выход  $o_i^f = [o_i^f : o_{n-t+1}^f]$ . Также есть работа [15], где вместо конкатенации используют усреднение.

Декодер модели выполняет генерацию векторов, из которых предсказывается каждый из элементов реляционной тройки. Он состоит из однонаправленной рекуррентной сети LSTM, механизма внимания и механизма копирования. Выражение для LSTM выглядит в сокращенной форме следующим образом:

$$o_j^D, h_j^D = g(u_j, h_{j-1}^D) \tag{2}$$

где  $g(\bullet)$  — функция декодера, представленная однонаправленной LSTM сетью;  $u_j$  — векторное описание скопированного слова или отношения, декодированного на шаге  $j - 1$ ;  $w^u$  — матрица весов;  $c_j$  — вектор внимания.

Выход декодера  $o_j^D$  используется для декодирования элементов реляционной тройки. Если  $j$  принадлежит ряду 1,4,7... прогнозируется тип отношения, если 2, 5, 8... — субъект, 3, 6, 9... — объект.

Векторное представление  $v_j$  отношения, субъекта или объекта, получившее наибольшую вероятность, используется в качестве входных данных для следующего временного шага  $v_{j+1}$ . Такой подход называется авторегрессионным [15].

Старт генерации и ее завершение выполняется подобно другим задачам, использующим подход, основанный на преобразовании последовательностей. Вектор вложения  $v_j$  в формуле 2 инициализируется векторным представлением специального стартового слова «GO», а скрытое состояние  $h_0^D$  вектором предложения  $s = [h_n^E : h_n^E]$ . Модель выполняет генерацию до тех пор, пока не встретит элемент, сигнализирующий окончание генерации.

Для обучения модели CopyRL использовалась отрицательное логарифмическое правдоподобие, вычисляемое следующим образом:

$$L = \frac{1}{B \cdot T} \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^T -\log(p(y_i^j | y_i^{<j}, s, \theta)), \tag{3}$$

где  $T$  — максимальный временной шаг,  $B$  — размер мини-пакета,  $\theta$  — параметры всей модели.

Модель CopyRL имеет ряд недостатков. Во-первых, при генерации объекта необходимо исключать векторное представление соответствующее предсказанному на предыдущем шаге субъекту. В противном, модель опять его предскажет, как показали в исследовании [15]. Во-вторых, модель не способна извлекать элементы реляционных троек, состоящих из нескольких слов. В-третьих, функция потерь учитывает порядок декодирования реляционных троек. Это приводит к тому, модель штрафует за то, что предсказала реляционные тройки в отличном от заданного порядке, хотя в действительности должен наблюдаться инвариант к порядку.

Первые две проблемы позволяет решать модификация CopyMTL, предложенная в [16]. Их модель основана на многозадачном обучении, для прогнозирования элементов реляционной тройки с несколькими маркерами.

Проблема маскирования решается путем отображения  $o_{j-1}^D$  и  $o_j^E$  в объединенное пространство признаков через один дополнительный нелинейный слой:

$$q_j^E = \text{selu}([o_{j+1}^D : o_j^E] \times w^e) \times w^f. \quad (4)$$

Также CopyMTL способна выделять элементы отношений, состоящих из нескольких слов. Для этого в [16] вводится дополнительный блок маркировки последовательностей. Выходные сигналы из блока кодировщика поступают в блоки CopyRe-Decoder и Sequence-Labeling. Блок CopyRe-Decoder аналогичен модели CopyRe. Блок Sequence-Labeling в [16] представлен в виде CRF, который вычисляет наиболее вероятные метки для каждого слова. Используется схема BIO (Begin, Inside, Outside). На этапе вывода, полученные теги используются для постобработки декодированных объектов. Для предсказанного элемента

Правила декодирования выглядят следующим образом: «В» объект из нескольких слов, добавляются все следующие токены «I»; «I» — объект из нескольких слов, добавляются все слова с «I» после, и все слова до «В» перед включительно; «O» — элемент состоит из одного слова.

Оценки условных вероятностей тегов для предложения  $s$  можно представить в следующем виде:

$$p(\text{tags}^* | s) = \frac{e^{\text{score}(s, \text{tags}^*)}}{\sum_{\text{tags}} e^{\text{score}(s, \text{tags}^*)}}, \quad (5)$$

$$\text{score}(s, \text{tags}) = \sum_i \varphi_{i, \text{tag}_i} + b_{\text{tag}_{i-1} \rightarrow \text{tag}_i},$$

где  $\varphi_{i, \text{tag}_i}$  — оценка тегов для  $i$ -го входного слова, который получен из скрытого состояния Bi-LSTM на временном шаге  $i$ ;

$b_{\text{tag}_{i-1} \rightarrow \text{tag}_i}$  — оценка перехода от  $\text{tag}_{i-1}$  к  $\text{tag}_i$ .

Оценки условной вероятности получаются путем оптимизации следующей функции потерь:

$$L^E = -\log(p(\text{tags}^* | s)). \quad (6)$$

Таким образом итоговая модель обучается при помощи комбинированной функции потерь:

$$L = \lambda \cdot L^E + L^D, \quad (7)$$

где  $\lambda$  — коэффициент потери при маркировке.

Хотя CopyMTL решает проблему прогнозирования реляционных троек, содержащих элементы из нескольких слов, в механизме копирования это никак не учитывается — выбирается слово с максимальной вероятностью. Также данная модель не учитывает инвариант

порядка прогнозирования реляционных троек, что негативно влияет на обучение модели.

### Преобразование преобразования последовательности в множество

Узким местом методов seq-to-seq является авторегрессионное декодирование. Этот процесс позволяет генерировать элементы реляционных троек один за другим преобразуя задачу (1) в

$$P(Y | s, \theta) = p_L(n | s) \prod_{i=1}^n p(Y_i | s, Y_{j < i}, \theta). \quad (8)$$

Строгая зависимость индексов во времени не позволяет распараллелить процесс декодирования реляционных троек. Кроме того, она не позволяет обмениваться информацией между всеми тройками, учитывая только предыдущие. Еще одним недостатком представленных seq-to-seq моделей является чувствительность функции потерь к перестановкам. Реляционные тройки, по своей природе, не имеют внутреннего порядка между собой. Однако, для адаптации авторегрессионного декодера, вывод которого представляет собой последовательность, неупорядоченные тройки должны быть отсортированы в определенном порядке на этапе обучения. Поскольку перекрестная энтропия накладывает штраф за каждую тройку, предсказанную вне позиции. Решить эти проблемы позволяет модифицированная модель seq-to-seq, которую предложили в [17]. Авторы сформулировали совместную задачу извлечения сущностей и отношений как проблему предсказания множества. Их модель также имеет кодировщик-декодер архитектуру. В качестве кодировщика используется модель типа BERT. Декодер данной модели в отличие от seq-to-seq не является авторегрессионным. Это позволяет не только избежать изучения порядка извлечения нескольких реляционных троек, но также генерировать тройки на основе двунаправленной информации, а не слева направо.

Архитектура декодера состоит из  $N$  идентичных слоев трансформера. На каждом уровне преобразователя присутствует механизма self-attention для моделирования отношений между тройками и механизм cross-attention для объединения информации данного предложения. Декодер преобразует  $m$  тройных запросов в  $m$  выходных вложений, которые затем независимо декодируются в реляционные тройки при помощи сетей прямой связи.

Основная трудность обучения данной модели состоит в том, чтобы набрать предсказанные тройки по отношению к истинным. В работе [17] предлагают использовать функцию потерь предсказания (9), которая дает оптимальное соответствие между истинными и предсказанными тройками

$$\pi^* = \operatorname{argmin}_{\pi \in \Pi(m)} \sum_{i=1}^m C_{\text{match}}(Y_i, \hat{Y}_{\pi(i)}), \quad (9)$$

где  $\Pi(m)$  — пространство всех перестановок длины  $m$ ;  $C_{\text{match}}(Y_i, \hat{Y}_{\pi(i)})$  — стоимость парного сопоставления между истинной и предсказанной тройкой с индексом.

Подход seq-to-set оказался довольно эффективным, что показывает и другая его реализация [18]. Концептуально эта модель решает задачу похожим образом, однако ее блоки имеет отличное строение. Так, кодировщик дополняется сетью BiGRU, а декодер имеет пирамидальную структуру и дополняется регрессором, который постепенно уточняет предложения, чтобы более точно находить и классифицировать интервалы.

### Анализ существующих LLM подходов

Современные большие языковые модели, такие как GPT3, ChatGPT, GPT4, а также их отечественные аналоги GigaChat и YandexGPT являются одним из наиболее востребованных подходов для решения задач обработки текстов на естественном языке,

Исследователи [21] используют набор данных SemEval 2010 Task 8, сильно страдающий от дисбаланса классов и для категорий данных с меньшим количеством предложений генерируют 3 дополнительных предложения при помощи ChatGPT. Авторы также отмечают, что генерация при помощи ChatGPT могут возникать следующие проблемы: 1) потеря специальных символов, обозначающих начальную и конечную позицию элемента реляционной тройки, что вынуждает применять выравнивание; 2) сгенерированные данные могут не соответствовать ожидаемым методам дополнения, таким как трансляция, рекомбинация или замена объекта/субъекта; дополнительные данные могут иметь низкое качество. Учитывая эти проблемы, в работе [21] предлагается генерировать новые данные с использованием подсказки, описывающий формат выходных данных.

Авторы работы [19–21] исследуют, способна ли большая языковая модель самостоятельно извлекать временные отношения с минимальным внешним воздействием. Были предложены три различных запроса для оценки производительности с «нулевым выстрелом», эксперименты с которыми иллюстрируют, что производительность ChatGPT сильно зависит от контекста, играющего роль дополнительного знания об конкретном документе. Хотя, в [19–21] показывают, что ChatGPT еще довольно сильно отстает от современных контролируемых методов, он не подвержен сильному снижению производительности в мало-представленных классах.

Построение графов знаний не всегда может ограничиться поиском объекта субъекта и отношения. Особен-

но это заметно в научном мире. Где соединения определяются сложной комбинацией. Теоретически такого рода отношения можно смоделировать как  $n$ -кортежи, где  $n$  — количество сущностей, что для обычных методов, как правило, невозможно. Более того, один объект может иметь несколько одноименных значений. В статье [21] предлагают настраивать большую языковую модель GPT3 так, чтобы она принимала отрывок текста и писала точно отформатированное резюме, содержащееся в подсказке. Преимущество такого подхода — способность извлекать информацию как на уровне предложения, так и на уровне документа.

### Эксперимент по созданию вспомогательной системы

Авторами был проведен эксперимент, задача которого — определить, способна ли модель посредством переданного ей контекста установить связанные ли сущности конкретным отношением. В своем исследовании мы использовали русскоязычный публично доступный набор данных NEREL [22]. Он состоит из 746/94/93 документов Russian Wikinews, разделенных на обучающее, валидационное и тестовое множества соответственно. В общей сложности, в NEREL 56 тысяч аннотированных именованных объектов, разделенных на 29 типов, и 39 тысяч аннотированных отношений, разделенных на 49 типов.

В эксперименте использовалась русскоязычная LLM GigaChat, на вход которой подавался различный контекст. Ниже показан пример контекста, и как можно видеть, модель не только способна устанавливая взаимосвязь сущностей посредством некоторого, заведомо определенного отношения, но и преобразовывать ответ в требуемый формат.

*Prompt:*

{«role»: «user», «content»: «Тебе на вход будет передан текст. Необходимо выделить имена людей и их профессии в формат JSON.»},

{«role»: «user», «content»: «Президент Башкирии Муртаза Рахимов в очередной раз решил поменять главу своей администрации.»},

{«role»: «user», «content»: «Вчера он уволил Азамата Сагитова, который возглавил башкирскую администрацию год назад после вынужденной отставки Радия Хабирова, сейчас занимающего пост заместителя начальника управления президента РФ по внутренней политике.»}

Ответ модели:

{«content»: «{«Муртаза Рахимов»: «Президент Башкирии», «Азамат Сагитов»: «глава администрации», «Радий Хабиров»: «заместитель начальника управления президента РФ по внутренней политике»}»}

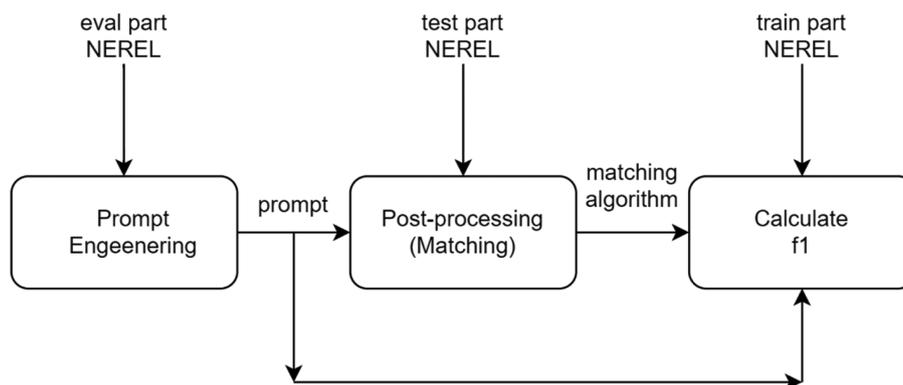


Рис. 1. Схема проведения эксперимента

Для численной оценки способности LLM устанавливать связь между сущностями, мы извлекли предложения в которых присутствовали реляционные тройки {PERSON; COUNTY; ORIGINS\_FROM}. И просили модель извлечь сущности, аффилированные отношением «родом из». Наша полная методология включала три стадии: 1 — подбор контекста для модели; 2 — обработка выходов модели, необходимая для матчинга ответов модели в разметку; 3 — оценка результатов матчинга. Для большей статистической значимости оценки мы меняли порядок разбиения данных, предложенный авторами NEREL. Для подборки контекста мы использовали валидационную часть, для подбора алгоритма постобработки тестовую, и финальное качество замеряли на тренировочной части. Общая схема проведения приведена на рисунке 1. Мы также удаляем примеры из замера, которые распознаны моделью как запрещенные, в соответствии с политикой, предоставляющей модель, компании.

В зависимости от выбора контекста и алгоритма постобработки наши оценки показывали качество от 0.5–0.65 f1 меры, что на наш взгляд, является достаточным для построения вспомогательной системы.

### Сравнительный анализ

По результатам описанных генеративных методов был проведен сравнительный анализ преимуществ и недостатков каждой технологии. Результаты сравнительного анализа отображены в таблице 1.

Метод prompt выделяется на фоне других подходов, так как не требует значительных объемов данных для обучения модели. Это свойство особенно важно в условиях ограниченных ресурсов или при использовании заранее обученных моделей, что позволяет сократить время на подготовку и обработку данных. В то время как методы seq-to-seq и seq-to-set требуют значительных объемов данных для тренировки и построения эффективных моделей, что может быть не всегда целесообразно при наличии ограничений по данным.

Таблица 1.

Сравнительный анализ генеративных методов

	seq-to-seq	seq-to-set	prompt
Точность	—	+	—
Низкие требования к базе данных	—	—	+
Высокий уровень влияния на работу системы	+	+	—
Низкий порог использования	—	—	+
Низкие временные затраты на реализацию	—	—	+
Автономность	+	+	—
Гибкость к количеству реляционных троек	+	—	+

Метод seq-to-seq показал большую гибкость в работе с реляционными тройками, что означает способность обрабатывать и учитывать большие объемы взаимосвязанных данных. Это свойство полезно в задачах, где важно учитывать сложные и динамичные структуры данных. В то время как методы seq-to-set и prompt менее эффективны в таких случаях, так как они более ориентированы на работу с отдельными элементами или запросами, а не на сложные взаимосвязи.

### Заключение

В работе был проведен аналитический обзор и сравнительный анализ существующих генеративных методов извлечения реляционных троек. Введена классификация генеративных методов, включающая три группы: классические методы преобразования последовательностей, методы преобразования последовательностей в множество, prompt-методы. Выделены ключевые преимущества и недостатки каждой группы генеративных подходов. Наибольшей перспективной, по мнению авторов, обладают подходы, основанные на использовании больших языковых моделей.

В следующих работах авторы планируют продолжить разработку методологии построения вспомогательной системы, реализующей комбинированную разметку, дополнив ее системой правил преобразования и сравне-

ния текстовых данных. Такая система в результате позволит воплощать самостоятельные системы извлечения реляционных троек в конкретных предметных областях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kuzmenko A.V., Kireev V.S. A Review of Generative Methods for Extracting Relational Triples from Natural Language Texts // *Studies in Computational Intelligence*, 2024 Vol. 477 SCI, Q4 pp. 228–238
2. Кузьменко А. В., Киреев В. С. Классификация методов извлечения реляционных троек из текстов на естественном языке // *Материалы XXV Междунар. науч.-техн. конф. «Нейроинформатика-2023»*. — 2023. — С. 302–311.
3. Ambhore R. Governance of Unstructured Data: Managing Data Quality in Non-Traditional Data Sources // *International Journal of Research*. — 2024. — Vol. 11, No. 12. — P. 19–37.
4. Shang et al. Relational Triple Extraction: One Step is Enough // *Proc. 31st Int. Joint Conf. Artif. Intell. (IJCAI-22)*. — 2022. — P. 4360–4366.
5. Zenelko D., Aone C., Richardella A., et al. Kernel methods for relation extraction // *J. Mach. Learn. Res.* — 2003. — Vol. 3. — P. 1083–1106.
6. Chan S.Y., Roth D. Exploiting syntactico-semantic structures for relation extraction // *Proc. 49th Annu. Meet. Assoc. Comput. Linguistics: Human Lang. Technol.* — 2011. — P. 551–560.
7. Zhong Z., Chen D.A. A frustratingly easy approach for entity and relation extraction // *Proc. 2021 Conf. North Amer. Chapter Assoc. Comput. Linguistics: Human Lang. Technol.* — 2021. DOI: 10.18653/v1/2021.naacl-main-5.
8. Miwa M., Sasaki Y. Modeling Joint Entity and Relation Extraction with Table Representation // *Proc. 2014 Conf. Empirical Methods in Natural Lang. Process. (EMNLP)*. — 2014. — P. 1858–1869.
9. Gupta P., Schütze H., Andrassy B. Table Filling Multi-Task Recurrent Neural Network for Joint Entity and Relation Extraction // *Proc. COLING 2016, 26th Int. Conf. Comput. Linguistics: Tech. Papers*. — 2016. — P. 2537–2547.
10. Zhang M., Zhang Y., Fu G. End-to-End Neural Relation Extraction with Global Optimization // *Proc. 2017 Conf. Empirical Methods in Natural Lang. Process.* — 2017. — P. 1730–1740.
11. Miwa M., Bansal M. End-to-end Relation Extraction using LSTMs on Sequences and Tree Structures // *Proc. 54th Annu. Meet. Assoc. Comput. Linguistics*. — 2016. — Vol. 1. — P. 1105–1116.
12. Zheng S., Wang F., Bao H., et al. Joint Extraction of Entities and Relations Based on a Novel Tagging Scheme // *Proc. 55th Annu. Meet. Assoc. Comput. Linguistics*. — 2017. — Vol. 1. — P. 1227–1236.
13. Dai D., Xiao X., Lyu Y., et al. Joint Extraction of Entities and Overlapping Relations Using Position-Attentive Sequence Labeling // *Proc. AAAI Conf. Artif. Intell.* — 2019. — P. 6300–6308.
14. Wei Z., Su J., Wang Y., et al. A Novel Cascade Binary Tagging Framework for Relational Triple Extraction // *Proc. 58th Annu. Meet. Assoc. Comput. Linguistics*. — 2020. — P. 1476–1488.
15. Zeng X., Zeng D., He S., et al. Extracting Relational Facts by an End-to-End Neural Model with Copy Mechanism // *Proc. 56th Annu. Meet. Assoc. Comput. Linguistics*. — 2018. — Vol. 1. — P. 506–514.
16. Zeng D., Zhang H., Liu Q. CopyMTL: Copy Mechanism for Joint Extraction of Entities and Relations with Multi-Task Learning // *Proc. AAAI Conf. Artif. Intell.* — 2020. — P. 9507–9514.
17. Sui D., Chen Y., Liu K., et al. Joint entity and relation extraction with set prediction networks // *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.* — 2023. DOI: 10.1109/TNNLS.2023.3264735.
18. Wen X., Zhou C., Tang H., et al. End-to-end entity detection with proposer and regressor // *Neural Process. Lett.* — 2023. DOI: 10.1007/s111063-023-11201-8.
19. Hu Y., Ameer I., Zou X. Zero-shot Clinical Entity Recognition using ChatGPT. — 2024. DOI: arXiv:2303.16416.
20. Yuan C., Xie Q., Ananiadou S. Zero-shot Temporal Relation Extraction with ChatGPT // *Proc. 22nd Workshop Biomed. Nat. Lang. Process. BioNLP Shared Tasks*. — 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2304.05454.
21. Feng P., Wu H., Yang Z., et al. Leveraging Prompt and Top-K Predictions with ChatGPT Data Augmentation for Improved Relation Extraction // *Appl. Sci.* — 2023. — Vol. 13, № 23. Dagdelen J., Dunn A., Lee S., et al.
22. Artemova E., Malykh V., Tyers F., et al. NEREL: A Russian Dataset with Nested Named Entities, Relations and Events // *Proc. Recent Adv. Nat. Lang. Process.* — 2021. DOI: 10.26615/978-954-452-072-4\_100.

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ И РАЗВИТИИ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ ХОЛДИНГОВЫХ КОМПАНИЙ

**INFORMATION SYSTEMS FOR INTELLIGENT SUPPORT OF MANAGEMENT DECISIONS IN THE BUILDING AND DEVELOPMENT OF IT INFRASTRUCTURE OF HOLDING COMPANIES**

**F. Nevolin  
O. Romashkova  
G. Veremeychuk  
S. Chiskidov**

*Summary.* The article analyzes the current information technology infrastructure of the holding company to reveal its strengths and weaknesses; examines the business needs and goals of the holding company in the context of IT infrastructure, including opportunities for expansion, cost reduction and increased security; examines existing systems of effective models of intellectual support for managerial decision-making; a comparative analysis of the effectiveness of existing models of intellectual decision support affecting the processes of IT infrastructure management in a holding company is carried out.

*Keywords:* holding company, IT infrastructure, information system, intellectual support, management solutions, business process, data security, data warehouse, integration mechanisms, data analysis platform.

**Неволин Филипп Дмитриевич**

Аспирант, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет (МГПУ)»  
fnevolin@mail.ru

**Ромашкова Оксана Николаевна**

Доктор технических наук, профессор, профессор, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (РАНХиГС)», г. Москва, Россия  
ox-rom@yandex.ru

**Веремейчук Геннадий Степанович**

Кандидат технических наук, доцент, доцент ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», г.о. Химки, Московская область, Россия  
ver-gena@yandex.ru

**Чискидов Сергей Васильевич**

Кандидат технических наук, доцент, профессор, ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России» г.о. Химки, Московская область, Россия  
chis69@mail.ru

*Аннотация.* В статье проведен анализ текущей информационно-технологической инфраструктуры холдинговой компании для раскрытием сильных и слабых сторон; исследованы потребности бизнеса и цели холдинговой компании в контексте ИТ-инфраструктуры, включая возможности для расширения, сокращения расходов и повышения безопасности; рассмотрены существующие системы эффективных моделей интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений; проведен сравнительный анализ результативности существующих моделей интеллектуальной поддержки принятия решений, влияющих на процессы управления ИТ-инфраструктурой в холдинговой компании.

*Ключевые слова:* холдинговая компания, ИТ-инфраструктура, информационная система, интеллектуальная поддержка, управленческие решения, бизнес-процесс, безопасность данных, хранилище данных, механизмы интеграции, платформа для анализа данных.

## Введение

**В** настоящее время холдинговые компании сталкиваются с быстрыми и сложными изменениями в информационной технологической инфраструктуре, что делает неотъемлемой частью успешного управления способность адаптироваться к новым условиям и принимать обоснованные решения. Эффективное управление ИТ-инфраструктурой становится жизненно важным

видом деятельности, проводимой менеджментом для обеспечения конкурентоспособности холдинговой компании [1]. В этом контексте проблема интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при построении и развитии ИТ-инфраструктуры приобретает особую актуальность [2].

Сложность проблемы обусловлена недостаточной коммуникацией и координацией между подразделени-

ями холдинга, несоответствием между стратегией холдинга и информационно-технологической инфраструктурой, а также отсутствием единой системы управления информационно-технологической инфраструктурой. Одним из перспективных путей решения этих трудностей является разработка эффективной модели интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в холдинговой компании.

Целью исследования является анализ эффективных моделей интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений, направленных на оптимизацию процессов построения, развертывания и развития информационно-технологической инфраструктуры в холдинговой компании и проверка эффективности разработанных моделей и алгоритмов.

В ходе исследования были поставлены следующие задачи для решения обозначенной проблемы:

1. Произвести анализ текущей информационно-технологической инфраструктуры холдинговой компании для выявления сильных и слабых сторон, а также идентификации возможных улучшений.
2. Провести исследование потребности бизнеса и целей холдинговой компании в контексте ИТ-инфраструктуры, включая возможности для расширения, сокращения расходов и повышения безопасности.
3. Выполнить сравнительный анализ существующих систем эффективных моделей интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений.
4. Выполнить оценку и сравнительный анализ результативности существующих моделей интеллектуальной поддержки принятия решений, используя определенные метрики и показатели эффективности, влияющих на процессы управления ИТ-инфраструктурой в холдинговой компании.

Результаты этого исследования будут иметь важное значение для руководства холдинговых компаний, поскольку помогут им принимать более обоснованные и эффективные решения, что будет иметь положительное влияние на их конкурентоспособность и успех.

#### Анализ текущей информационно-технологической инфраструктуры холдинговой компании

В современном мире информационные технологии играют ключевую роль в успехе бизнеса, особенно для холдинговых компаний, которые управляют множеством активов и бизнес-процессов. Эффективная информационно-технологическая инфраструктура позволяет не только оптимизировать внутренние процессы, но и поддерживать конкурентоспособность на рынке. Рассмотрим основные аспекты анализа ИТ-инфраструктуры

холдинговой компании, включая ее классификацию, методы выявления сильных и слабых сторон, а также рекомендации по улучшению [3].

Схемавозможной классификации ИТ-инфраструктуры холдинговой компании изображена на рисунке 1.

Первым шагом к пониманию текущего состояния ИТ-инфраструктуры является сбор информации о существующих системах и технологиях. Это можно сделать через аудит ИТ-активов, для проведения которого применяются как автоматизированные инструменты для сканирования сети, так и интервью с ключевыми пользователями. Здесь важно получить представление о том, какие системы используются, каковы их функции и какие проблемы возникают в процессе работы. Такой подход поможет не только выявить текущее состояние систем, но и понять потребности бизнеса [4].

После сбора информации необходимо провести оценку сильных сторон инфраструктуры. Это включает в себя анализ производительности, надежности и гибкости систем. Использование инструментов для тестирования производительности и мониторинга позволяет определить, какие системы работают эффективно, а какие нуждаются в улучшении. Надежность систем также важна: мониторинг доступности и времени безотказной работы помогает выявить потенциальные проблемы до того, как они повлияют на бизнес-процессы. Гибкость инфраструктуры, в свою очередь, определяет, насколько легко можно адаптировать системы к изменяющимся требованиям рынка.

Не менее важно выявить и слабые места в инфраструктуре. К ним могут относиться устаревшие технологии, которые требуют замены, а также риски безопасности данных. Проведение аудита безопасности с использованием специализированных инструментов позволяет выявить уязвимости и определить, какие меры необходимо предпринять для их устранения [5]. Проблемы с интеграцией между различными системами также могут замедлять бизнес-процессы, и их важно выявить на ранних стадиях.

На основе проведенного анализа можно разработать конкретные рекомендации по улучшению ИТ-инфраструктуры. Модернизация устаревших технологий, переход на облачные решения и внедрение механизмов автоматизации процессов с помощью RPA (Robotic Process Automation) могут значительно повысить эффективность работы компании [6]. Кроме того, обучение персонала новым системам и технологиям является важным аспектом, который поможет обеспечить успешное внедрение изменений и адаптацию сотрудников к новым условиям работы.



Рис. 1. Схема классификации ИТ-инфраструктуры холдинговой компании

Одной из ключевых потребностей холдинговых компаний является возможность масштабирования своих ИТ-ресурсов. В условиях быстро меняющегося рынка, где требования могут измениться в считанные дни, компании должны быть готовы к быстрой адаптации. Например, если одна из дочерних компаний холдинга решает запустить новый продукт, ей необходимо мгновенно выделить вычислительные мощности и хранилища данных для поддержки этого запуска [6]. Облачные технологии предоставляют гибкость и масштабируемость, позволяя быстро увеличивать или уменьшать объемы ресурсов в зависимости от текущих потребностей. Это не только обеспечивает оперативность в принятии решений, но и позволяет избежать больших капитальных затрат на приобретение и обслуживание физического оборудования.

Сокращение расходов также является одной из первоочередных задач для холдинговых компаний. Традиционные модели ИТ-инфраструктуры часто требуют значительных инвестиций в оборудование, что может стать финансовым бременем, особенно в условиях нестабильности на рынке. Переход на облачные решения позволяет использовать модель «оплата по мере использования», что значительно снижает фиксированные затраты

[7]. Холдинговые компании могут оптимизировать свои расходы, оплачивая только за те ресурсы, которые они фактически используют.

Безопасность данных представляет собой еще одну важную область, требующую внимания со стороны холдинговых компаний. В условиях роста киберугроз и ужесточения нормативных требований защита информации становится критически важной. Облачные провайдеры предлагают передовые решения для обеспечения безопасности, включая шифрование данных, многофакторную аутентификацию и регулярные обновления программного обеспечения.

Также стоит отметить, что интеграция различных систем и приложений в рамках холдинговой компании представляет собой вызов. Разные дочерние компании могут использовать различные программные решения, что создает сложности в управлении данными и обеспечении их безопасности. Использование API и микросервисов позволяет создать гибкую архитектуру, способную легко интегрироваться с другими системами [8]. Такой механизм интеграции не только упрощает обмен данными между различными подразделениями, но и повышает общую эффективность бизнес-процессов.

В холдинговых компаниях для поддержки принятия решений в области построения и развития ИТ-инфраструктуры находят широкое применение следующие цифровые платформы и инструменты [9]:

1. IBM Watson. Платформа для предсказательной аналитики и обработки естественного языка, которая помогает в анализе данных и принятии обоснованных решений.
2. Tableau. Инструмент для визуализации данных, который позволяет создавать интерактивные дашборды и отчеты для поддержки принятия решений на основе данных.
3. Microsoft Power BI. Платформа для бизнес-аналитики, которая предоставляет инструменты для визуализации данных и отчетности, а также возможности для предсказательной аналитики.
4. ServiceNow. Платформа для управления инцидентами и автоматизации ИТ-процессов, которая помогает ускорить реагирование на инциденты и улучшить управление сервисами.
5. Splunk. Платформа для анализа больших данных, которая позволяет собирать, анализировать и визуализировать данные в реальном времени для поддержки принятия решений.
6. SAP BusinessObjects. Решение для бизнес-аналитики, которое предоставляет инструменты для отчетности, анализа данных и визуализации, поддерживающее процесс принятия решений.
7. QlikView/Qlik Sense. Платформы для визуализации и анализа данных, которые помогают пользователям самостоятельно исследовать данные и принимать обоснованные решения.
8. Oracle Analytics Cloud. Облачное решение для аналитики, которое предлагает инструменты для предсказательной аналитики, визуализации и анализа данных.
9. Domo. Платформа для бизнес-аналитики и визуализации данных, которая помогает компаниям собирать данные из различных источников и принимать решения на основе аналитики.
10. Alteryx. Платформа для подготовки и анализа данных, которая позволяет пользователям выполнять сложные аналитические расчеты без необходимости программирования.
11. Trello/Asana. Инструменты для управления проектами и совместной работы, которые могут использоваться для поддержки коллективного принятия решений.
12. Anaplan. Платформа для планирования и моделирования бизнеса, которая помогает компаниям в управлении финансовыми и операционными процессами.

Для проведения оценки и сравнительного анализа результативности существующих моделей интеллектуальной поддержки принятия решений (ИППР) в кон-

тексте управления ИТ-инфраструктурой холдинговой компании, будут рассмотрены несколько популярных моделей и их характеристики по заранее определенным метрикам и показателям эффективности [10].

В основу моделей интеллектуальной поддержки легли такие системы как: экспертные системы (ЭС), системы машинного обучения (СМО), аналитические системы (АС), а также гибридные системы (ГС).

Для этого была разработана таблица 1, в которой представлены основные результаты сравнения моделей ИППР с применением определенных метрик и показателей:

1. Точность — процент правильных рекомендаций/решений.
2. Время обработки — время, необходимое для генерации решения.
3. Простота применения — безразмерная величина для оценки удобства интерфейса (по шкале от 1 до 5).
4. Гибкость — безразмерная величина, характеризующая способность адаптироваться к изменениям (по шкале от 1 до 5).
5. Возврат на инвестиции (ROI) — оценка финансовой эффективности внедрения модели (в процентах).

Таблица 1. Основные результаты сравнения моделей ИППР

Модель	Точность, %	Время обработки, с	Простота применения (1–5)	Гибкость (1–5)	ROI, %
Экспертные системы	85	3	4	3	150
Системы машинного обучения	90	2	6	4	200
Аналитические системы	80	5	5	3	120
Гибридные системы	92	4	4	5	250

На основании таблицы можно сделать определенные выводы.

1. Экспертные системы обладают высокой точностью, но могут быть менее гибкими и не всегда быстрыми. Подходят для ситуаций, где требуется обширный опыт и знания.
2. Системы машинного обучения обладают высокой точностью и скоростью обработки, но могут быть сложными в использовании для непрофессионалов. Хорошо подходят для больших объемов данных и сложных паттернов.
3. Аналитические системы просты в использовании, но могут отличаться недостаточной точностью

и скоростью обработки. Подходят для анализа исторических данных и отчетности.

4. Гибридные системы обладают наивысшей точностью и гибкостью, но скорость обработки в них может варьироваться. Идеальны для решения комплексных задач, требующих как экспертного мнения, так и анализа данных.

Таким образом, гибридные системы показывают наилучшие результаты по большинству метрик, что делает их предпочтительными для управления ИТ-инфраструктурой в холдинговой компании. Системы машинного обучения также являются сильными кандидатами, особенно в контексте применения механизмов больших данных и сложной аналитики. Экспертные

и аналитические системы могут быть полезны в специфических сценариях, но требуют дополнительных ресурсов и времени.

### Заключение

В целом, процесс построения и развития информационно-технологической инфраструктуры в холдинговой компании является сложной и многогранной задачей, требующей комплексного подхода и стратегического планирования. Он должен быть направлен на создание эффективной и гибкой инфраструктуры, которая будет поддерживать бизнес-процессы, способствовать росту и развитию компании, а также повышать ее конкурентоспособность на рынке.

### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Юсупова Н.И., Сметанина О.Н., Агадуллина А.И., Рассадникова Е.Ю. // Вопросы моделирования при организации информационной интеллектуальной поддержки управленческих решений в сложных системах. Фундаментальные исследования. 2017. № 2. С. 107–113.
3. Заболотникова В.С., Ромашкова О.Н. Анализ методов кластеризации для эффективного управления процессами в налоговой службе // Фундаментальные исследования. 2017. № 9-2. С. 303–307.
4. Кизим А.В. Модели и методы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении процессом технического обслуживания, ремонта и модернизации промышленного оборудования // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». 2021.
5. Павличева Е.Н., Ромашкова О.Н. Информационные процессы поддержки принятия решений в многоуровневых образовательных системах / Москва, 2022.
6. 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.
7. Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н. Повышение эффективности управления информационными потоками в образовательном комплексе // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2016. № 57. С. 82–87.
8. Алпатов А.Н., Гришкина Е.В. Интеграция микросервисов и графовых программных интерфейсов // В сборнике: Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации. Махачкала, 2023. С. 200–205.
9. 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.
10. Пономарева К.А. Тенденции развития интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Наука без границ. 2020. № 5 (45). С. 107–111.

© Неволин Филипп Дмитриевич (fnevolin@mail.ru); Ромашкова Оксана Николаевна (ox-rom@yandex.ru);  
Веремейчук Геннадий Степанович (ver-gena@yandex.ru); Чискидов Сергей Васильевич (chis69@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА: РЕШЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ В УНИВЕРСИТЕТАХ

## MICROSERVICE ARCHITECTURE: A SOLUTION FOR MANAGING DIGITAL ECOSYSTEMS AT UNIVERSITIES

*D. Ogorodov  
N. Ivanov*

*Summary.* This scientific article examines the importance and advantages of implementing microservice architecture in the context of higher education institutions. The relevance of the topic is due to the need to create a unified digital ecosystem capable of coping with growing amounts of data and ensuring high flexibility and scalability of university information systems in the context of digital transformation. The purpose of the work is to substantiate the transition from monolithic to microservice architecture, identify the key principles of its implementation and evaluate the expected results. The study examined the main limitations of monolithic systems, developed strategies for the transition to a microservice architecture, and provided examples of real-world cases demonstrating the successful application of this technology. The results show that the microservice architecture improves operational efficiency, simplifies application development and testing, and enables individual deployment of each service. The materials of the article will be useful for universities seeking to modernize their digital systems, and can be used to create an educational digital environment at the national level.

*Keywords:* microservice architecture, monolithic architecture, digital ecosystem, universities, higher education, scalability, flexibility.

**Огородов Дмитрий Владимирович**  
Аспирант, ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»  
ogorodov-dv@rguk.ru

**Иванов Никита Геннадьевич**  
ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»  
ivanov-ng@rguk.ru

*Аннотация.* В статье исследуется необходимость и преимущества внедрения микросервисной архитектуры в контексте высших учебных заведений. Актуальность темы обусловлена необходимостью создания единой цифровой экосистемы, способной справляться с растущими объемами данных и обеспечивать высокую гибкость и масштабируемость университетских информационных систем в условиях цифровой трансформации. Цель работы — обосновать переход от монолитной к микросервисной архитектуре, выявить ключевые принципы ее внедрения и оценить ожидаемые результаты. В ходе исследования были изучены основные ограничения монолитных систем, разработаны стратегии перехода на микросервисную архитектуру, а также приведены примеры реальных кейсов, демонстрирующих успешное применение данной технологии. Полученные результаты показывают, что микросервисная архитектура способствует повышению операционной эффективности, упрощает разработку и тестирование приложений, а также обеспечивает возможность индивидуального развертывания каждого сервиса. Материалы статьи будут полезны для университетов, стремящихся к модернизации своих цифровых систем, и могут быть использованы для формирования образовательной цифровой среды на национальном уровне.

*Ключевые слова:* микросервисная архитектура, монолитная архитектура, цифровая экосистема, университеты, высшее образование, масштабируемость, гибкость.

### Введение

В последние годы, высшие учебные заведения по всей России активно внедряют цифровые инструменты в образовательные и административные процессы. Тенденции к цифровизации были сформированы на совете Безопасности 25 июля 2007 года, где была утверждена «Стратегия развития информационного общества России», а также «Концепция системной интеграции информационных технологий (ИТ) в высшей школе», «Концепция развития сети телекоммуникаций в системе высшего образования Российской Федерации». [1]

Однако, несмотря на очевидные преимущества цифровизации, многие высшие учебные заведения сталкиваются с проблемами управления цифровыми экосистемами. Одной из ключевых проблем является использование устаревшей монолитной архитектуры

информационных систем, которая ограничивает масштабируемость, гибкость и оперативность в адаптации новых технологий. Такая архитектура становится препятствием для полноценного функционирования университетских цифровых экосистем, особенно в условиях роста объемов данных и расширения спектра цифровых сервисов. В настоящей статье рассматривается возможность решения указанных проблем посредством перехода на микросервисную архитектуру. Автор анализирует преимущества и принципы внедрения микросервисов, а также показывает, как они могут революционизировать подход к управлению цифровыми экосистемами в университетах. Материалы исследования позволят образовательным учреждениям не только повысить эффективность работы, но и сформировать единую образовательную среду, способствующую реализации национальных целей цифровизации.

Материалы и методы

В данной статье использованы различные научные методы исследования, которые обеспечивают глубину анализа и объективность выводов. Основными методами стали анализ, синтез и обобщение. Метод анализа позволил рассмотреть особенности микросервисной архитектуры, ее преимущества и недостатки в контексте цифровизации высших учебных заведений. Метод синтеза способствовал интеграции информации из различных источников для формирования целостного представления о проблеме. Обобщение использовано для выделения ключевых закономерностей и тенденций в управлении цифровыми экосистемами университетов. Для систематизации и обобщения информации применялись результаты научных исследований отечественных авторов, что обеспечило достоверность и актуальность рассматриваемых данных. В основу настоящей работы легли труды таких исследователей, как Н.А. Бородин, И.Б. Богданов, А.Г. Кирилов, О.В. Нестерук и других, которые внесли значительный вклад в изучение информационных технологий и их применения в образовательной сфере. Также в исследовании учитывались данные национальных стратегий и проектов, таких как «Стратегия развития информационного общества России» и национальный проект «Образование», а также практические примеры внедрения микросервисной архитектуры в образовательных учреждениях. Такой подход позволил не только рассмотреть проблему в теоретическом аспекте, но и представить ее практическую значимость.

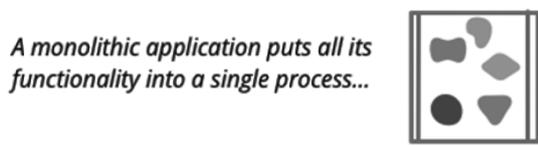
Результаты и обсуждение

В настоящее время стратегия цифровизации реализуется на основе национального проекта «Образование» утвержденного президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (2019–2024 годы) [2]. Цифровизация значительно оптимизирует работу университетов и повышает уровень образования, но, к сожалению, многие высшие учебные заведения сталкиваются с проблемами в управлении своей цифровой экосистемой из-за отсутствия единого подхода в разработке и внедрении продуктов.

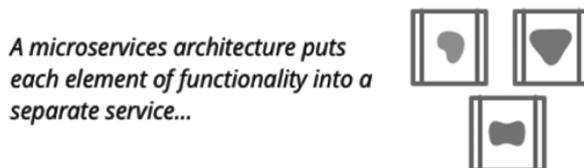
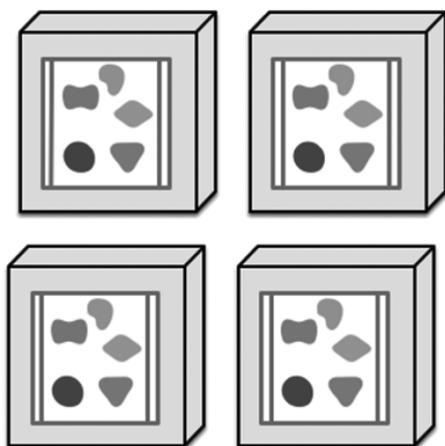
Традиционная монолитная архитектура, используемая в университетах, приводит к созданию системы, которую трудно поддерживать. Микросервисная архитектура же предлагает гибкое и масштабируемое решение, которое может революционизировать то, как университеты управляют своей цифровой экосистемой.

Микросервисная архитектура — это подход к разработке программного обеспечения, который предполагает разбиение приложения на более мелкие автономные сервисы. Каждый микросервис отвечает за определенную задачу и может взаимодействовать с другими продуктами через API. [3-5]

Основным недостатком монолитной архитектуры, повсеместно используемой в университетах, является ее ограниченность в масштабируемости. Когда цифро-



*... and scales by replicating the monolith on multiple servers*



*... and scales by distributing these services across servers, replicating as needed.*

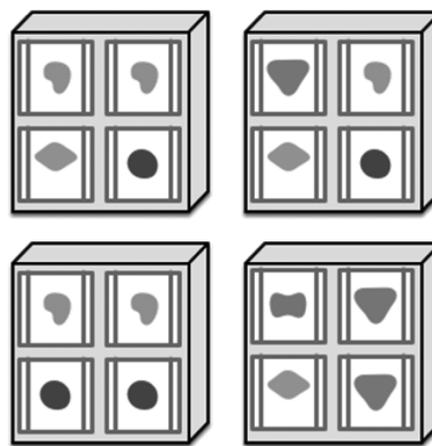


Рис. 1. Пример монолитной и микросервисной архитектуры [3]

вая экосистема ВУЗа растет, появляется все больше сервисов, увеличивается кодовая база, монолит становится слишком большим и сложным для управления и разработки, что приводит к деградации производительности и отказам в работе системы.

В свою очередь микросервисная архитектура может предоставить цифровым экосистемам университетов ряд преимуществ, таких как: масштабируемость и гибкость цифровой экосистемы; возможность развертывания каждого сервиса отдельно; упрощение разработки и тестирования приложения в целом, благодаря независимости микросервисов друг от друга.

В настоящее время на рынке информационных технологий России наблюдается активное внедрение микросервисной архитектуры. Одна из ведущих транснациональных компаний в этой области в июле 2022 года представила открытый исходный код фреймворка «userver», предназначенного для создания высоконагруженных приложений. Этот инновационный фреймворк обеспечивает быстрое создание эффективных микросервисов на языке C++ и уже успешно применяется в различных сервисах, включая службы доставки, торговые площадки и другие. [6]

Компания начала свой путь в области разработки программного обеспечения с использованием монолитной архитектуры, где все компоненты системы были интегрированы в одно приложение. Однако, с ростом бизнеса и расширением спектра сервисов, монолитная архитектура стала препятствием для дальнейшего развития.

В ответ на эти вызовы была разработана стратегия перехода с монолитной системы на микросервисную архитектуру. В рамках этой стратегии были выделены следующие основные принципы внедрения:

- Переход должен быть максимально простым для разработчиков;
- В новой системе необходимо иметь возможность использовать части старого кода и действующих разработчиков;
- Необходимо использовать язык программирования, не зависящий от одного вендора/компании, являющийся типизированным. [7]

Хоть на российском рынке уже и существуют успешные примеры использования микросервисной архитектуры, на данный момент это касается только бизнес решений. В сфере высшего образования приоритетом остается монолитная система разработки с децентрализованным использованием вендорных сервисов.

Большинство университетов в России успешно применяют готовые программные продукты, предназна-

ченные для автоматизации работы ВУЗа. Это включает управление студенческим контингентом, мониторинг учебного процесса, организацию и ведение приемной кампании и т.д. Однако основная проблема таких продуктов заключается в том, что они охватывают только образовательную часть жизнедеятельности университета. [8]

В связи с этим, разработчики стремятся реализовать на своих платформах и другие более узко специализированные решения, такие как системы для документооборота, бухгалтерию, отдел кадров и т. д. Хотя эти платформы позиционируют себя как немонолитное решение и набор механизмов, которые могут применяться как по отдельности, так и совместно, в любых сочетаниях, на практике они воспринимаются пользователями (университетами) иначе.

При внедрении этих продуктов университеты проходят множество этапов доработки под свои особенности образовательного процесса. Это связано с тем, что эти продукты являются комплексными и создаются для общего использования, тем самым пренебрегая вопросом использования возможностей масштабируемости системы.

Внося собственные правки в существующие системы, эти программные продукты становятся монолитными, поскольку дальнейшие общие обновления полностью аннулируют внесенные изменения.

Еще одной важной особенностью работы университетов является использование оптимального решения в конкретной задаче. Это приводит к повышению количества вендорных и опенсорс сервисов, таких как различные программные комплексы, системы управления контентом, сервисы для проведения онлайн-экзаменов, системы управления обучением и т.д.

Таким образом, в настоящий момент российские университеты можно разделить на два типа. К первому типу можно отнести университеты, использующие собственные или готовые монолитные решения. Ко второму, наиболее распространенному типу, относятся университеты, использующие монолитную систему в качестве основной и сторонние сервисы, не связанные с общей архитектурой (рис. 2).

В отличие от бизнеса и компаний, университетам гораздо проще осуществить переход с монолитной системы на микросервисную архитектуру. Это связано с относительно малым числом пользователей, существующими готовыми решениями на рынке, а также наличием квалифицированных специалистов. Немаловажной особенностью внедрения микросервисной архитектуры является ее обособленность на первоначальных этапах разработки, что позволяет создавать продукты с парал-

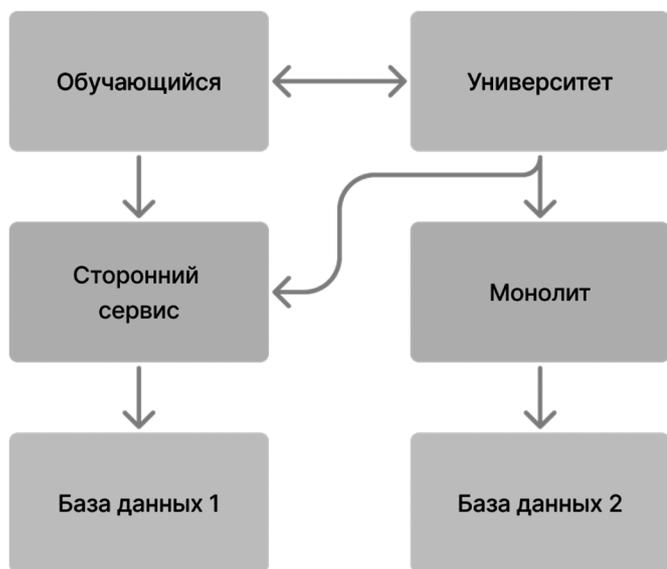


Рис. 2. Смешанная архитектура

тельно существующей монолитной системой, а в дальнейшем и параллельная работа до момента полного замещения.

При переходе на микросервисную архитектуру стоит учитывать, что деятельность университета можно разделить на несколько направлений: [9]

- образовательная;
- воспитательная (социальная);
- научная;
- имиджевая;
- дополнительная учебная;
- внеучебная;
- производственная;
- методическая;
- административная.

В первую очередь, потребуется определить приоритетные направления, сервисы которых необходимы для создания единой цифровой экосистемы, такие как: еди-

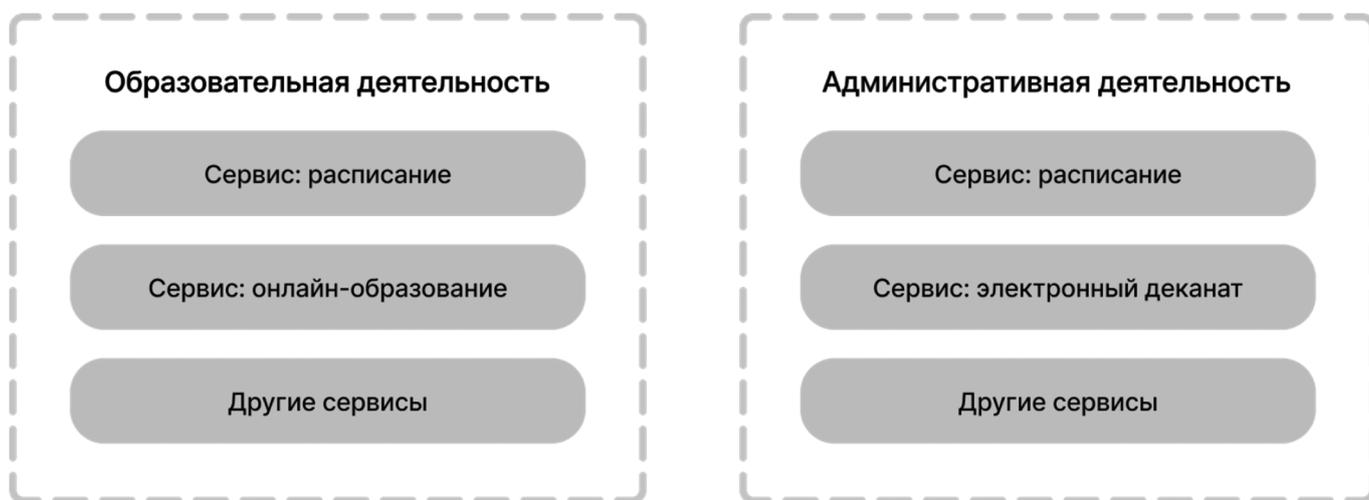


Рис. 3. Первичные сервисы направлений

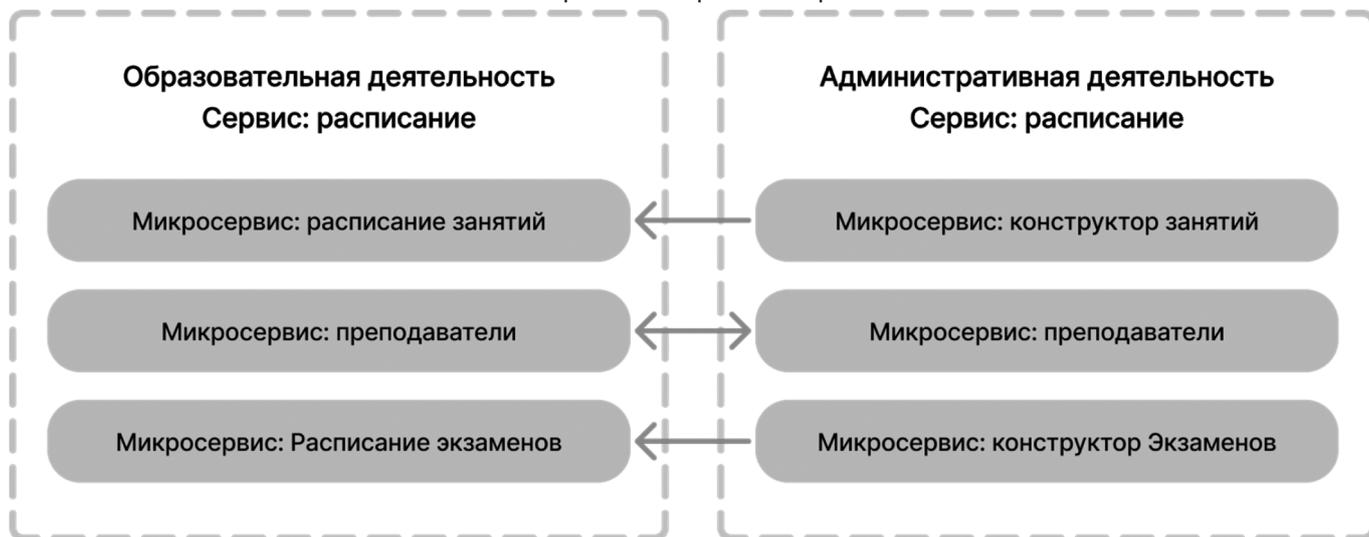


Рис. 4. Пример проектирования микросервисов

ный сервис авторизации, система управления обучением, информационные системы для обучающихся и др. В связи с гибкостью разработки и масштабируемости микросервисной архитектуры, нет нужды разработать сервисы, охватывающие все направления, на первом этапе достаточно сделать акцент на нескольких, которые станут основой экосистемы (рис. 3).

На рис. 3 приведен пример выбора первичных сервисов по направлениям образовательной и научной деятельности. Важно отметить, что сервисы могут дублироваться, например, «Сервис: Расписание». Студенты, преподаватели и административный персонал взаимодействуют с данным сервисом, но со специализированным интерфейсом, на основе ролей и уровня доступа. Как только определены основные сервисы, их необходимо спроектировать на основе микросервисов, каждый из которых должен отвечать за определенную задачу и взаимодействовать друг с другом через API (рис. 4).

На рис. 4 видно, как работают и взаимодействуют микросервисы, некоторые уникальные для каждого сер-

виса, разработанные для решения конкретной задачи, а другие обращаются друг к другу, чтобы решать смежные задачи. Такой метод использования микросервисов значительно облегчает разработку продуктов, повышает ее отказоустойчивость и производительность. Следующим этапом является непосредственная разработка, где каждый микросервис должен разрабатываться независимо и должен быть тщательно протестирован, для предотвращения нежелательных сценариев в будущем. В заключение необходимо провести развертывание микросервисов и управления ими. Данный этап включает в себя настройку системы для мониторинга микросервисов и обеспечения их бесперебойной работы.

На рис. 5 представлен пример реализации сервиса расписания для трех типов ролей, с использованием микросервисной архитектуры. Данный пример показывает, как можно комбинировать различные микросервисы для решения общей задачи, а также демонстрирует простоту внедрения новых микросервисов для безграничного расширения цифровой экосистемы университета (Рис. 6).

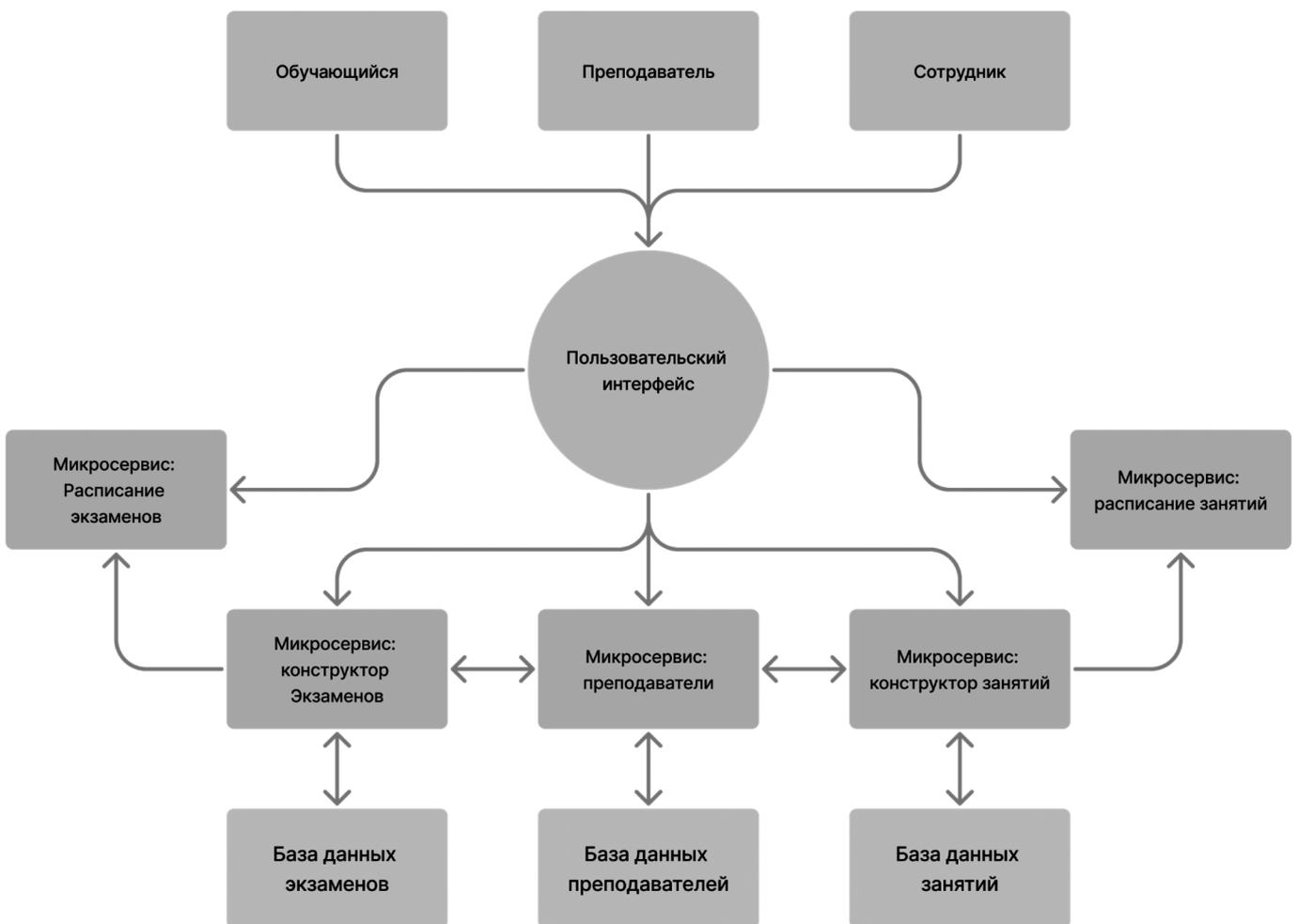


Рис. 5. Пример Сервиса расписания на основе микросервисной архитектуры

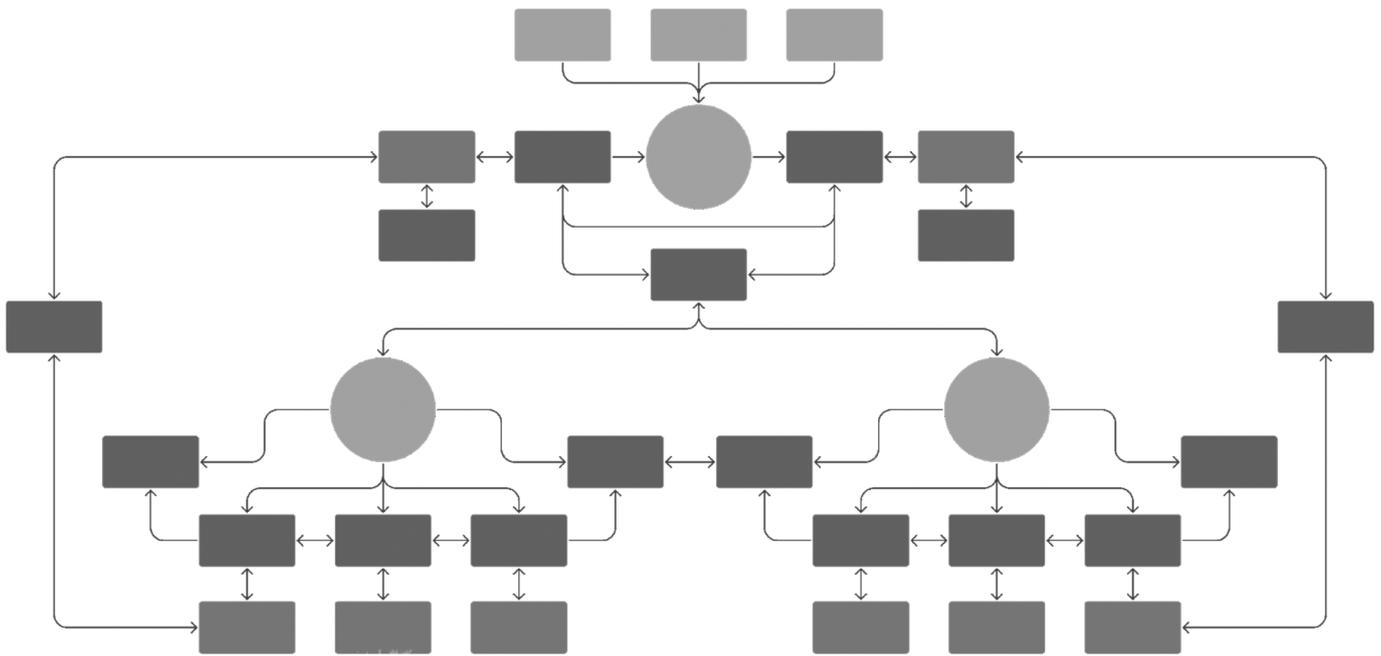


Рис. 6. Пример развития цифровой экосистемы на основе микросервисной архитектуры

### Заключение

Подводя итоги исследования, можно сделать вывод, что микросервисная архитектура революционизирует то, как университеты управляют своими цифровыми экосистемами. Ее преимущества многочисленны и помогут университетам оставаться конкурентоспособными в эпоху цифровых технологий. Безусловно, многие ВУЗы столкнутся с трудностями внедрения и смены уже устоявшихся монолитных систем, но в итоге именно этот переход сможет сформировать единую цифровую образовательную среду всей страны, объединяя в себе лучшие практики во всех сферах образования.

В рамках данной работы были представлены примеры проектирования микросервисов, которые наглядно демонстрируют подход к архитектурной разработке.

Рассмотрен пример сервиса управления расписанием, реализованного на основе микросервисной архитектуры, а также пример построения и развития цифровой экосистемы университета. Эти примеры показывают, как универсальные принципы микросервисной архитектуры могут быть адаптированы к специфике образовательных процессов. Материалы статьи могут быть полезны для разработчиков, IT-специалистов и руководителей высших учебных заведений, которые занимаются вопросами цифровизации и автоматизации. Представленные методики проектирования и описания ключевых преимуществ микросервисного подхода могут служить основой для создания новых цифровых решений в образовательной сфере. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы в научных исследованиях, посвященных разработке и внедрению современных архитектур в управлении образовательными экосистемами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бородина Н.А., Богданова И.Б. Особенности осуществления государственной политики в области информатизации образования в современной России // Инженерный вестник Дона. 2012. №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/635](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/635).
2. Заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам «паспорт национального проекта «ОБРАЗОВАНИЕ» от 24 декабря 2018 г. № 16 // министерство науки и высшего образования. 2018 г.
3. Microservices a definition of this new architectural term // [martinfowler.com](http://martinfowler.com) URL: [martinfowler.com/articles/microservices.html](http://martinfowler.com/articles/microservices.html) (дата обращения: 26.06.2023).
4. Microservices Architecture Enables DevOps: Migration to a Cloud-Native Architecture // [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org) URL: [ieeexplore.ieee.org/document/7436659](http://ieeexplore.ieee.org/document/7436659) (дата обращения: 26.12.2024).
5. Continuous Deployment: Strategies // [www.javacodegeeks.com](http://www.javacodegeeks.com) URL: [www.javacodegeeks.com/2014/12/continuous-deployment-strategies.html](http://www.javacodegeeks.com/2014/12/continuous-deployment-strategies.html) (дата обращения: 26.12.2024).
6. userver — The C++ Framework // [github.com](http://github.com) URL: <https://github.com/userver-framework> (дата обращения: 26.06.2024).
7. [habr.com](http://habr.com) URL: [habr.com/ru/companies/yandex/articles/674902/](http://habr.com/ru/companies/yandex/articles/674902/) (дата обращения: 26.12.2024).
8. Кирилов А.Г. Направления автоматизации системы управления вузом // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. 2015.
9. Нестерук О.В. Деятельность высших учебных заведений как один из аспектов эффективного функционирования сферы сервиса // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. 2012.
10. Кравченко Д.А. Микро сервисная архитектура // Интерактивная наука. 2022. №4 (69). С. 43–44.

© Огородов Дмитрий Владимирович ([ogorodov-dv@rguk.ru](mailto:ogorodov-dv@rguk.ru)); Иванов Никита Геннадьевич ([ivanov-ng@rguk.ru](mailto:ivanov-ng@rguk.ru))

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И ПРОБЛЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ТРАФИКОМ

## METHODS AND PROBLEMS OF DESIGNING A TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM RESEARCH

*D. Pelikh*

*Summary.* The article describes the problems of traffic management. Modern methods of traffic management, including using artificial intelligence, are presented. The application of a multi-agent approach in solving problems in this field, in particular, optimizing the duration of traffic light phases, is substantiated. Some problems that arise when designing such systems are described. The prospects of using these methods are presented.

*Keywords:* management, traffic, methods, optimization, artificial intelligence, multi-agent approach.

**Пелих Дмитрий Александрович**

Аспирант, ассистент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
elektronstandart@bk.ru

*Аннотация.* В статье описаны проблемы управления транспортным трафиком. Приведены современные методы организации дорожного движения, в том числе с помощью искусственного интеллекта. Обосновано применение мультиагентного подхода при решении задач в данной области, в частности, оптимизации длительности фаз светофора. Описаны некоторые проблемы, возникающие при проектировании подобных систем. Представлены перспективы применения указанных методов.

*Ключевые слова:* управление, дорожный трафик, методы, оптимизация, искусственный интеллект, мультиагентный подход.

### Введение

Моделирование транспортных потоков является важным дополнением к городскому и внегородскому планированию. Будучи важными рабочими инструментами для правительств и консультантов, модели дорожного движения привлекают большое внимание академических и других аналитиков. Наибольший интерес представляют модели городского движения, помощью которых можно эффективно решить задачу городских пробок. Помимо этого, моделирование трафика также необходимо для планирования и инвестирования в развитие транспортных сетей.

Организация дорожного движения сильно продвинулась в последнее время. Активно проектируются и применяются различные методы управления потоками транспорта, регулировки светофоров, расстановки, дорожных знаков и нанесения разметки. Однако из-за сложности системы транспортных потоков аналитические подходы могут не дать желаемых результатов. Поэтому модели движения транспортных средств (имитационные), предназначенные для описания поведения сложной системы транспортных потоков, стали важнейшим инструментом анализа и экспериментов. В зависимости от типа модели, область применения этих моделей очень широка, например:

- оценка альтернативных методов управления (динамического) движением;

- проектирование и тестирование новых транспортных объектов (например, геометрических конструкций);
- модели операционных потоков, которые служат в качестве субмодуля в других инструментах (например, управление и оптимизация движения на основе моделей и динамическое распределение движения);
- подготовка специалистов по управлению дорожным движением.

### Современные методы организации дорожного движения

Наиболее эффективным инструментом влияния на трафик является управление светофорами. В настоящее время происходит переход от жестких требований, которые регламентируют длительность цикла светофора и группировку периодов с использованием усредненных показателей транспортного потока, к адаптивным методам переключения сигналов светофора в соответствии с мгновенным определением насыщенности транспортного потока. В [1] рассмотрены алгоритмы управления перекрестками, как локальные, так и сетевые, где уже множество светофоров работают как одно целое, указаны способы их практического использования, а также раскрыта тема интернета вещей (Internet of Things) в управлении транспортом, в частности, как данные технологии используются в регулировании и сборе

информации о движении транспорта. В [2] проведено исследование, целью которого было оценить возможность реализации параллельных вычислений с использованием интеллектуальных методов анализа данных. Авторы пришли к выводу, что этот алгоритм моделирования транспортных потоков и сетей может найти свое применение для составления прогноза доступности транспортных узлов.

Отдельного внимания в рамках организации общественного пассажиропотока заслуживают перевозки с применением железнодорожного транспорта. Вопросы, связанным с моделированием пассажирского трафика на железной дороге посвящены труды [3, 4]. В качестве инструментов прогнозирования авторами предлагается использовать гибридную модель, которая предполагает проведение декомпозиции временных рядов с последующим использованием обучения с подкреплением. Также детально описывается усовершенствованный алгоритм оптимизации роя частиц (IPSO).

Заслуживает внимания тот факт, что иногда в процессе построения моделей, авторы ставят перед собой несколько целей, направленных на оптимизацию дорожного трафика. Например, в [5] комплекс целей включает в себя снижение расходов пассажиров на проезд и уменьшение затрат времени на эксплуатацию автобусов. В [6] предложено решение для достижения триумврата целей: экономия издержек на транспорт, снижение выбросов углекислого газа и уменьшение количества используемых ресурсов. Основу предложенного решения в данном случае составляет комбинация метода энтропийного веса и идеальной точки. В [7] с целью снижения выбросов углекислого газа и экономии энергии описана процедура использования алгоритма NSGA-II. Данный алгоритм может найти свое применение как непосредственно при моделировании дорожного движения, так и в процессе обоснования транспортных проектов строительства.

#### Оптимизация дорожного трафика с помощью искусственного интеллекта

Нейронные сети и искусственный интеллект также часто применяется при решении задач оптимизации дорожного трафика. Например, в [8] представлены результаты комплексного анализа пешеходного и дорожного трафика на регулируемом перекрестке. Аналитическим инструментом в данном случае были нейронные сети, которые анализировали данные видеопотока, генерируемого камерами уличного наблюдения. По результатам исследования был предложен новый подход, позволяющий достигнуть оптимизации пропускной способности узлов. Основу данного подхода составляет интеллектуальная технология, описывающая взаимодействие дорожной инфраструктуры с транспортным потоком

Результаты, изложенные в [9] содержат в себе описание программы, которая позволяет осуществлять подсчет автомобилей на перекрестках с использованием модели YOLO.

В [10] авторами показаны результаты разработки имитационной модели, которая реализована в среде AnyLogic. Данная модель описывает поведение интеллектуальной транспортной системы «умного города», которая реализует адаптивное управление светофорами. В [11–14] также представлены методы управления дорожным движением и планирования фазы сигнала светофора.

#### Мультиагентный подход в задачах оптимизации дорожного трафика

Также для решения задачи оптимизации дорожного трафика предлагается рассмотреть мультиагентный метод. Сложность данного подхода заключается в гетерогенности компонентов системы и стохастичности окружающей среды. В [15–16] рассмотрены проблемы проектирования и управления интеллектуальными информационными агентами. В [17] приведена архитектура планирования сервис-ориентированных систем в условиях неопределенности. В [18–20] показано как данный подход может быть применен при решении прикладных задач.

При проектировании мультиагентных систем можно столкнуться с рядом проблем. К примеру, одной из целей группы агентов, отвечающих за дорожный трафик, является минимизация заторов, то есть минимизация количества машин, которые с низкой скоростью движутся по некоторому участку трассы. Оптимальным решением данной задачи будет запрет передвижения транспорта по этому участку, что гарантирует отсутствие заторов, но фактически приводит к ещё худшим последствиям. Другим примером может быть задача максимизации пропускной способности дорожной сети, то есть увеличение количества транспорта, проходящего в единицу времени. Оптимальным решением данной задачи может быть увеличение площади дорожного полотна, и для достижения максимального результата, система может предложить снести любые здания и парки в городе и на их месте построить дорогу.

Следовательно, система должна быть построена так, чтобы при принятии решений одним агентом или группой агентов, отражающих действия субъектов управления городом, резко не ухудшились бы показатели качества функционирования других агентов. Помимо этого, необходимо точно понимать, что именно берется в качестве целей. В случае оптимизации дорожного трафика, максимизация количества автомобилей, передвигающихся в единицу времени, будет не самой лучшей

задачей, так как не будет учитываться пассажиропоток общественного транспорта, который перевозит гораздо большее количество людей, чем личный автомобиль.

### Заключение

Ввиду вышеописанных проблем выявление оптимальной функциональности для каждого компонента системы при проектировании архитектуры мультиагент-

ных систем в решении задач оптимизации дорожного трафика является актуальной задачей.

Приведённые методы и формализации могут быть масштабированы и для решения других задач управления городом, а также решить проблему преодоления неопределённости при принятии решений и повысить эффективность управления дорожным трафиком.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Елькин Д.М., Вяткин В.В. // На пути к интернету вещей в управлении транспортными потоками: обзор существующих методов управления дорожным движением // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. С. 100–113.
2. Сое Мое Аунг, С.А. Лупин, Д.А. Федяшин, Ба Хла Тхан. // Использование параллельных вычислений в интеллектуальной системе управления транспортными сетями // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 5, no. 2. 2017. С. 9–3.
3. Jinxin Wu, Deqiang He, Xianwang Li, Suiqiu He, Qin Li, Chonghui Ren // A Time Series Decomposition and Reinforcement Learning Ensemble Method for Short Term Passenger Flow Prediction in Urban Rail Transit // Springer. Urban Rail Transit. 2023.
4. Dingyuan Fan, Fei Yang, Jinghao Ji and Zexi Zhang // Research on Railway Passenger Volume Forecast Based on the Spline Interpolation and IPSO-Gradient Difference Acceleration Rule // Hindawi. Journal of Advanced Transportation. 2022. Volume 2023.
5. Shuai Liu, Lin Liu, Dongmei Pei, Jue Wang. // Bi objective bus scheduling optimization with passenger perception in mind // Nature Portfolio. Scientific Reports. 2023. № 13. P. 87–98.
6. Zhang, W.; Song, Y.; Zhou, G.; Song, Z.; Xi, C. Multiobjective-Based Decision-Making for the Optimization of an Urban Passenger Traffic System Structure // Sustainability. 2023. № 15. P. 13–21.
7. Xinguang Li, Jun Zhan, Fuquan Pan, Tong Lv, Shen Wang A multi objective optimization model of urban passenger transportation structure under low carbon orientation considering participating subjects // Springer Nature. Environmental Science and Pollution Research. 2023. № 87. P. 112–117.
8. Шепелев В.Д., Альметова З.В., Моор А.Д., Берстенева В.И. Оптимизация работы адаптивных светофоров на основе использования машинного зрения. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2020. Т. 14, № 1. С. 189–196.
9. Расулмухамедов М.М., Ташметов К.Ш. Оптимизация управления транспортным потоком на перекрестках с помощью нейронной сети. // Intellectual Technologies on Transport. 2023. No 51. С. 92–96.
10. Бекларян А.Л., Бекларян Л.А., Акопов А.С. Имитационная модель интеллектуальной транспортной системы «умного города» с адаптивным управлением светофорами на основе нечеткой кластеризации // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 3. С. 70–86. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.3.70.86.
11. Li L., Wen D., Yao D. A survey of traffic control with vehicular communications // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2014. Vol. 15. No. 1. P. 425–432.
12. Wang C., Wei X., Gao M., Zhu C., Wang R., Chen W. Traffic signal phase scheduling based on device-to-device communication // IEEE Access. 2018. Vol. 6. P. 47636–47645.
13. Tong W., Pan Z., Liu K., Yali Y., Xiumin W., Huawei H., Wu D.O. Multi-agent deep reinforcement learning for urban traffic light control in vehicular networks // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2020. Vol. 69. No. 8. P. 8243–8256.
14. Lin W-H., Wang C. An enhanced 0-1 mixed-integer LP formulation for traffic signal control // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2004. Vol. 5. No. 4. P. 238–245.
15. Wang, C.; Wang, J.; Wu, P.; Gao, J. Consensus Problem and Formation Control for Heterogeneous Multi-Agent Systems with Switching Topologies // Electronics. 2022. № 11. P. 25–30.
16. Nadir K. Salih, Tianyi Zang, G.K. Viju, Abdelmotalib A. Mohamed.: Autonomic Man-agement for Multi-agent Systems // IJCSI International Journal of Computer Science Issues. 2022. Vol. 8, Issue 5, No 1. P. 338–341.
17. Filipe Alves, Ana Maria A.C. Rocha, Ana I. Pereira, Paulo Leitao.: Distributed Scheduling Based on Multi-agent Systems and Optimization Methods. F. De la Prieta et al. (Eds.): PAAMS 2019 Workshops, CCIS 1047, 313–317.
18. Пелих Д.А., Птицына Л.К. Мультиагентные системы в управлении городскими ресурсами. Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. // XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С.И. Макаренко; сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 4. С. 690–694.
19. Бондаренко И.Б., Литвинов В.Л., Пелих Д.А., Рожкова Д.А., Филиппов Ф.В. Designing the Architecture of a Multi-agent CityManagement System Using Advanced Object-Oriented Modeling // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Digital and Information Technologies in Economics and Management» (DITEM2023). 2023. № 23. P. 106–117. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-55349-3\\_9](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-55349-3_9)
20. Бондаренко И.Б., Пелих Д.А. Мультиагентное планирование в управлении городской инфраструктурой // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей. Сборник лучших докладов: в 2 т. Т. 1. Санкт-Петербург: СПбГУТ, 2023. С. 365–368. URL: <http://pkm.sut.ru/documents/Сборник%20лучших%20докладов%20конференции%20ПКМ-2023%20Том%201.pdf>.

# РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ И ИССЛЕДОВАНИЙ

## DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR ACOUSTIC CALCULATIONS AND RESEARCH

**O. Pleskacheva  
B. Pruss  
V. Romanov**

*Summary.* The article describes the developed information system that allows performing acoustic calculations. The developed system has a user-friendly interface and the necessary functions that allow the user to obtain solutions both in numerical form and in the form of graphic images. The developed system is used to solve problems of construction acoustics studied by students within the framework of the course on the physical principles of construction acoustics. The results of using the information system show that it correctly and accurately performs calculations, and at the same time the system itself is convenient and easy to use.

*Keywords:* information system, acoustics, automation of calculations.

Акустика является областью физики, изучающей упругие колебания и волны, процесс их возбуждения и распространения, взаимодействие их с веществом и разнообразные применения. К прикладным областям акустики можно отнести строительную акустику, которая изучает вопросы снижения уровня шума в зданиях. Кроме основного пути борьбы с шумом, то есть снижения уровня шума в источнике, во многих случаях требуется использование других методов: звукоизоляции, звукопоглощения [1]. Поэтому проведение акустических расчетов и исследований является актуальной задачей, решение которой необходимо учитывать при проектировании и реконструкции жилых домов и инфраструктурных объектов в современном городе [2].

Для решения данной задачи нами было принято решение о разработке информационной системы акустических расчетов и исследований, которая позволила бы оперативно и качественно их выполнять и позволяла студентам овладевать методами обработки акустических данных и проводить их измерения.

**Плескачева Ольга Юрьевна**

Кандидат педагогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»  
pleskacheva@inbox.ru

**Прусс Борис Наумович**

Кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»  
prussbor@gmail.com

**Романов Виктор Александрович**

Кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»  
vromanov62@mail.ru

*Аннотация.* В статье описана разработанная автоматизированная информационная система, позволяющая осуществлять акустические расчеты. Разработанная система имеет удобный интерфейс и необходимые функции, позволяющие пользователю получать решения как в числовом виде, так и в виде графических изображений. С помощью разработанной системы решаются задачи строительной акустики, изучаемые студентами в рамках курса физические основы строительной акустики. Результаты использования информационной системы показывают, что она корректно и точно выполняет расчеты и при этом сама система удобна и проста в обращении.

*Ключевые слова:* информационная система, акустика, автоматизация расчетов.

После обзора специализированной и учебной литературы нами определялись задачи, которые будут решаться разрабатываемой системой. Разрабатываемая информационная система будет содержать семь задач, разделенных на три логических группы:

1. Группа: Задачи на вычисление звуковых волн.
  - 1.1. Задача: Вычисление отражения волны с постоянным импедансом.
  - 1.2. Задача: Прохождение звуковой волны.
  - 1.3. Задача: Расчет кривой звукопоглощения;
2. Группа: Задачи вычислений свойств звука.
  - 2.1. Задача: Вычисление уровня звукового давления.
  - 2.2. Задача: Вычисление спектра собственных частот помещения.
  - 2.3. Задача: Вычисление уровня звука;
3. Группа: Остальные задачи.
  - 3.1. Задача: Вычисление времени реверберации помещения.

Теперь, когда основное содержание информационной системы было определено, нами были определены подходящие средства разработки.

В качестве языка программирования был выбран Python. Основными его достоинствами являются:

1. Высокий уровень абстракции — позволяет программисту думать только о вещах, связанных с программой напрямую;
2. Простота написания кода — в комбинации с предыдущим пунктом, позволяет ускорить сроки разработки;
3. Кроссплатформенность — одно из самых сильных преимуществ языка, позволяет запускать программы на абсолютно разных машинах и системах, без изменений исходной программы.

В качестве графической системы была выбрана библиотека PySide6, которая предоставляет программисту широкий спектр возможностей (динамическое изменение интерфейса, анимации и т.п.) [3]. Также безусловным достоинством данной графической среды является кроссплатформенность (поддержана в большинстве популярных операционных систем). Помимо всего это PySide6 обладает «хорошей» (более дружелюбной к разработчикам) лицензией LGPL.

Для визуализации результирующих данных (создание и отображение графиков) будет использована библиотека ruqtgraph, имеющая интеграцию с PySide6.

В качестве среды разработки была выбрана и использована PyCharm (CommunityEdition 2022) от компании JetBrains.

Для реализации указанных задач, было осуществлено проектирование архитектуры информационной системы.

Ввиду того, что разрабатываемая информационная система будет решать ограниченное число задач в сфере акустических вычислений, предлагается разработать модульный «движок», позволяющий структурировать систему на различные модули и как следствие загружать их.

Концептуально предлагается информационную систему разделить на три независимые части (см. рисунок 1):

1. Система модулей/задач;
2. Шаблонное (базовое) приложение, с которым модули будут взаимодействовать;
3. Внешняя система, которая будет включать в себя функции, слишком специфичные для внесения внутрь «движка» (например, подсистема отображения графиков и диаграмм).

Такая архитектура позволит:

- во-первых, правильно структурировать код;
- во-вторых, увеличит модифицируемость, гибкость и расширяемость итогового приложения.

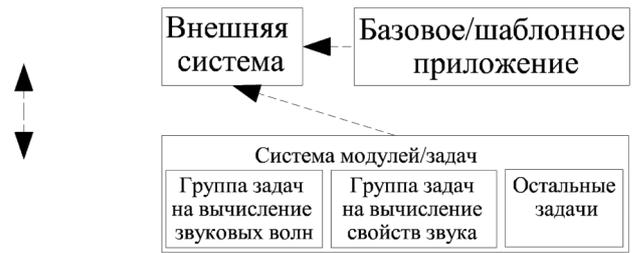


Рис. 1. Архитектура информационной системы

Говоря о системе модулей необходимо отметить, что они будут разделены на интерфейсную (frontend) и вычислительную (backend) составляющие. Также потребуется класс объединяющий интерфейс и вычисления (см. рисунок 2). Данная структура модулей программы обусловлена архитектурой системы модулей MVC (model — view — controller):

1. Model — вычислительная составляющая (backend);
2. View — интерфейсная составляющая (frontend);
3. Controller — объединяющий класс.

Модули будут объединены в группы по общим признакам (например, задачи на вычисление параметров звуковой волны).

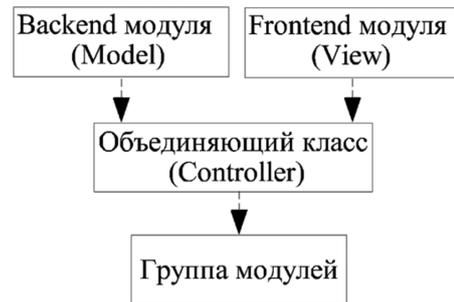


Рис. 2. Архитектура системы модулей

Также данный «движок» будет предоставлять загрузчик модулей.

Помимо вышеперечисленного, система модулей имеет внутреннюю подсистему, реализующую следующие структуры данных: контроллер модулей; Frontend модулей; Backend модулей; группу модулей; базовую сущность; результат вычислений и входные параметры задачи.

Шаблонное (базовое) приложение будет предоставлять «чистое поле» на котором модули будут размещать свои данные в специализированных зонах.

На данный момент в приложении будут присутствовать следующие зоны:

1. Зона списка задач;
2. Зона модуля;
3. Зона результатов модуля;
4. Зона краткого описания задачи.

Также базовое приложение будет реализовывать различный функционал отображения (например, анимации и собственные объекты для отображения результатов).

Как было описано ранее внешняя система будет включать вещи слишком специфические для того, чтобы включить их в ядро «движка», например, систему создания диаграмм, так как:

- во-первых, не каждому приложению могут потребоваться графики;
- во-вторых, они создаются с помощью библиотеки `ruqtgraph`, которая в свою очередь зависит от библиотеки `PySide6`, что очень сильно уменьшает применимость разработанного «движка» в других приложениях и существенно повышает размер ядра (с учетом зависимостей) — для обобщенной системы коей и является наш «движок» — это недопустимо.

Также в данную подсистему будут входить различные структуры данных, разработанные для взаимодействия с диаграммами и модулями:

1. Представление диаграммы;
2. Линейная диаграмма;
3. Столбчатая диаграмма;
4. Данные диаграммы;
5. Опции диаграммы;
6. Параметры модуля;
7. Опции модуля.

Также внешняя подсистема реализовывает функционал взаимодействия между ядром «движка» в виде загрузчика модулей/задач и самим приложением с помощью функционала, названного межсистемными взаимодействиями (например, отображение интерфейса модуля). Так как данные действия имеют зависимости, как минимум от графического фреймворка.

На первом этапе реализации было создано шаблонное (базовое) приложение, которое будет предоставлять

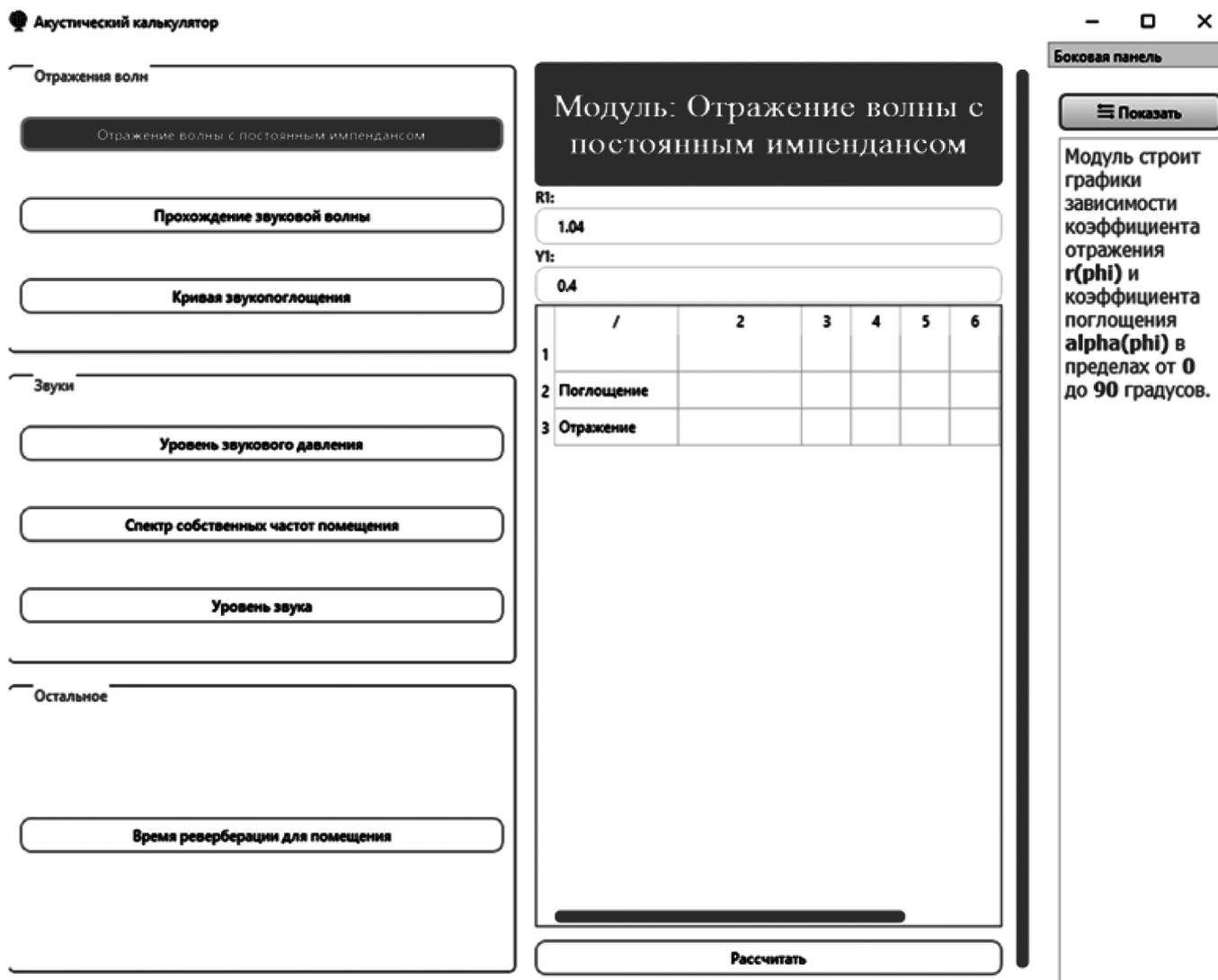


Рис. 3. Специализированные зоны шаблонного приложения

специализированные зоны, которые загружаемые модули будут заполнять и изменять по своему усмотрению (см. рисунок 3).

Рассмотрим каждую из зон более подробно:

1. Зона размещения групп и модулей;
2. Зона интерфейса модуля;
3. Зона описания модуля.

Как видно из названия, в первой зоне отображаются группы и принадлежащие им модули, при нажатии на соответствующую кнопку будет отображен интерфейс запрошенного модуля.

Зона интерфейса модуля является «безразмерной» и имеет полосу прокрутки, что снимает всякие ограничения на отображение интерфейса и результата модуля.

Зона описания модуля заполняется автоматически при отображении соответствующего модуля. Кнопка «Показать» расширяет зону описания и зону модуля для более детального отображения.

Также в базовом приложении реализованы дополнительные элементы интерфейса для отображения результатов:

1. QResultLabel — поле надписи, для отображения результата. При отображении результата про-

игрывается анимация «подбора» значения (путем последовательного отображения случайных чисел каждые 300 миллисекунд);

2. QLabel — стилизованное поле надписи для отображения названия модуля;
3. QTableWidgetItem — поле таблицы предназначенное для отображения результата, имеют аналогичную с QTableWidgetItem анимацию;
4. QTextBrowser — поле текста, предназначенное для отображения описания модуля;
5. QLineEdit — поле ввода данных, реализующее ввод чисел с плавающей точкой;
6. QIntEdit — поле ввода данных реализующее ввод целых чисел.

Для реализации системы модулей потребуются соответствующие структуры данных (см. рисунок 4):

1. ProblemResult — структура данных, хранящая именованные результаты вычислений;
2. ProblemArgs — структура данных, хранящая входные данные задачи;
3. ProblemTool — абстрактная структура данных, реализующая итерирование по элементам.

Перечисленные выше структуры данных являются наследниками ProblemTool и как следствие поддерживает итерирование по внутренним элементам.

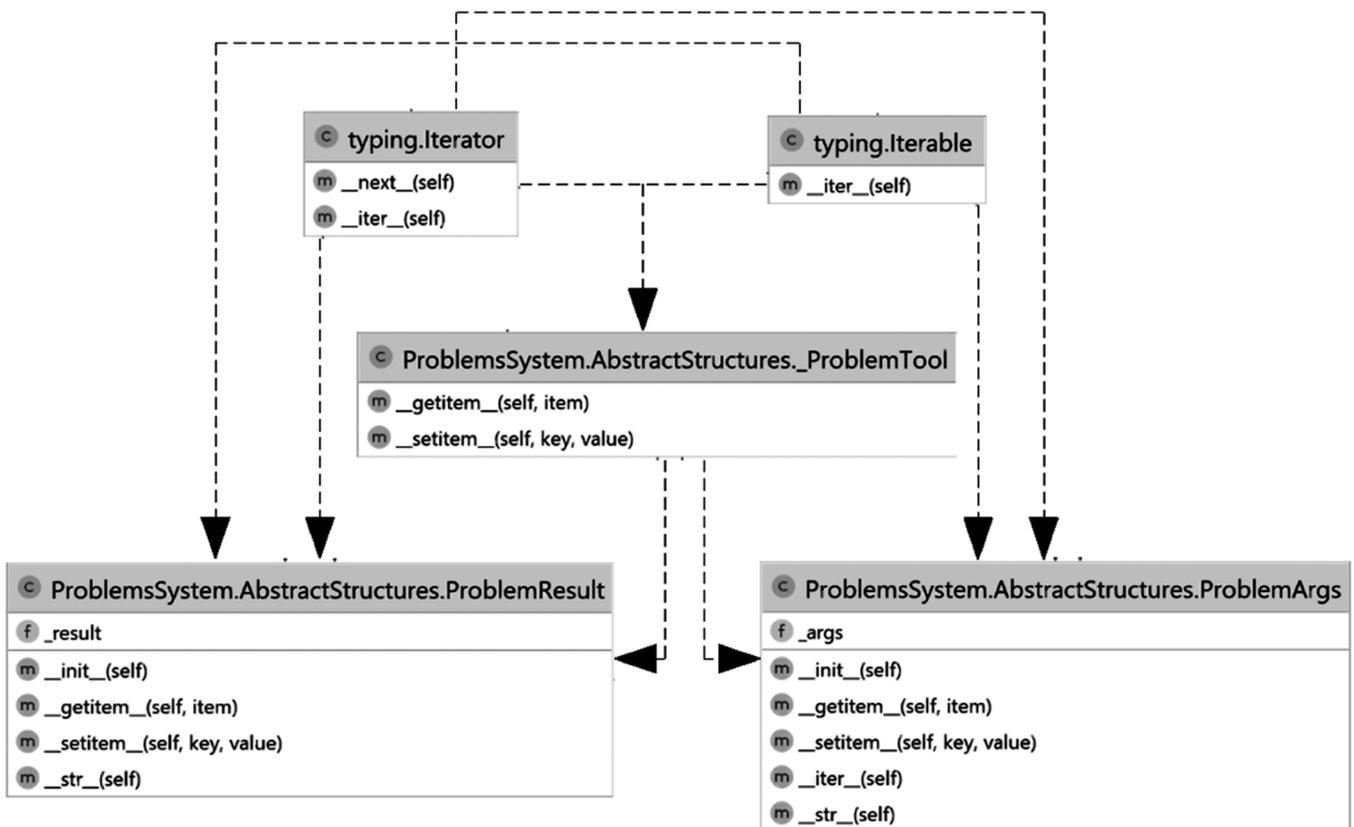


Рис. 4. Структуры данных

Система модулей также содержит соответствующие структуры данных для задачи и групп задач, обе этих структуры данных наследуются от класса сущность и реализуют интерфейс для получения имени и описания соответствующей сущности (см. рисунок 5):

1. Entity — базовый абстрактный класс, реализует методы получения имени и описания;
2. Problem — класс для реализации задачи, содержит следующие методы и свойство:
  - 2.1. Backend — свойство, реализующее вычислительную модель задачи;
  - 2.2. Frontend — свойство, реализующее интерфейс задачи;
  - 2.3. Clear\_result — метод, очищающий поле результата;
  - 2.4. Set\_result\_action — метод, устанавливающий основное действие задачи на соответствующий элемент интерфейса;
  - 2.5. Result\_action — метод, выполняющий очистку интерфейса и последующее вычисление и заполнение результатов;
  - 2.6. Solve\_problem — метод, выполняющий вычисление результатов;
3. ProblemGroup — класс, реализующий группу задач.

При проектировании было решено разделить вычисления задачи и её интерфейс (frontend и backend), для этого также потребуется реализовать соответствующие структуры данных (см. рисунок 6).

IProblemBackend — класс-интерфейс, реализующий один метод solve, принимающий на вход структуру данных ProblemArgs и возвращающий ProblemResult — метод solve реализует связанные с задачей вычисления.

IProblemFrontend — абстрактный класс, реализующий взаимодействие пользователя и задачи, т.е. пользовательский интерфейс. Класс содержит следующие методы:

1. Init\_problem — инициализирует интерфейс задачи;
2. Draw\_problem\_interface — отображает интерфейс задачи;
3. Draw\_result\_interface — отображает интерфейс результата;
4. Get\_problem\_args — формирует структуру ProblemArgs из введённых в интерфейс задачи данных;
5. Fill\_result — заполняет интерфейс результата задачи;

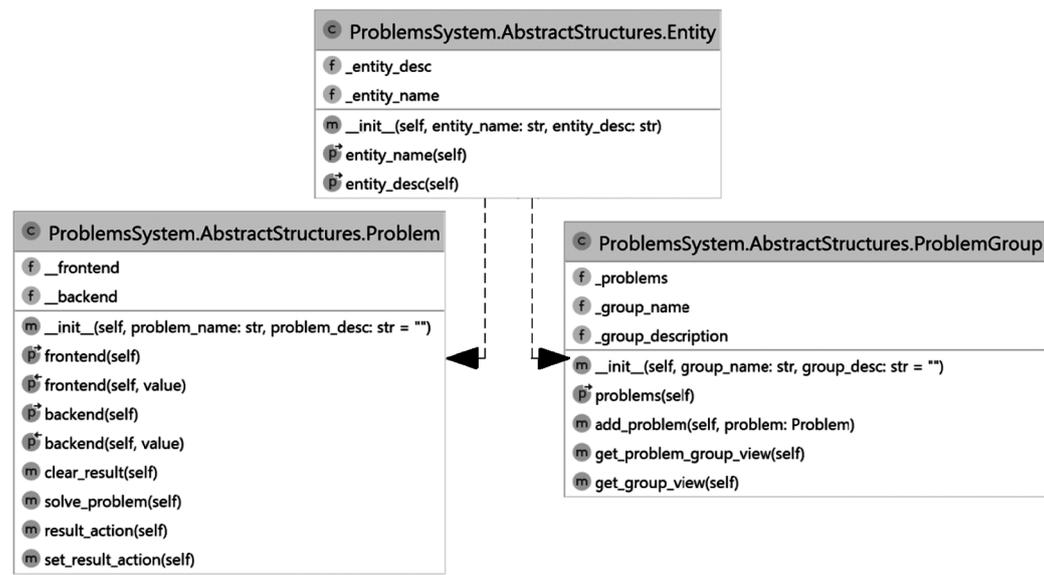


Рис. 5. Диаграмма классов задачи и группы задач

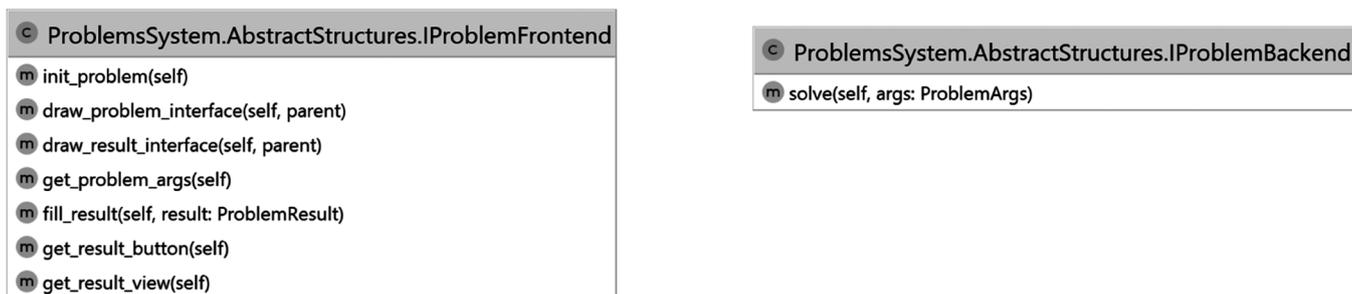


Рис. 6. Диаграмма классов вспомогательной структуры данных задачи

- 6. Get\_result\_button — возвращаетэкземпляр кнопки основного действия;
- 7. Get\_result\_view — возвращает поле отображения результата, для его последующей очистки.

Внешняя система реализует механизмы и структуры данных, специфичные (имеющие зависимости) для различных систем (см.рисунок 7):

- 1. ChartData — структура данных для хранения отображения на графике;
- 2. ProblemOptions — структура данных хранящая различные элементы базового приложения, для доступа к ним внутри модуля задачи;
- 3. TaskOptions — класс, реализующие различные вспомогательные функции для взаимодействия модулей и базового приложения:
  - 3.1. Clear\_module\_view — очистка интерфейса модуля;
  - 3.2. Clear\_module\_chart — очистка диаграммы модуля;
  - 3.3. Clear\_all\_module\_data — очистка всех данных модуля;

- 3.4. Notify — функция «оповещение» — расширяет зоны модуля и описания.

Помимо вышеперечисленных структур данных внешняя система содержит вспомогательный функционал. Класс ChartView реализует создание диаграмм, на основе переданных в него типов данных.

Классы ChartSeriesи ChartBarSeries реализуют структуры данных, с помощью которых определяется вид диаграммы (линейная или столбчатая) (см. рисунок 8).

Благодаря разработанной ранее архитектуре мы можем перейти к непосредственной реализации задач. Сама реализация модулей (задач) стандартна: они используют описанные ранее структуры данных, а именно классы:

- 1. IProblemBackend — реализация расчетов задачи;
- 2. IProblemFrontend — реализация интерфейса задачи;
- 3. Problem — класс «обёртка» совмещающий в себе предыдущие два.

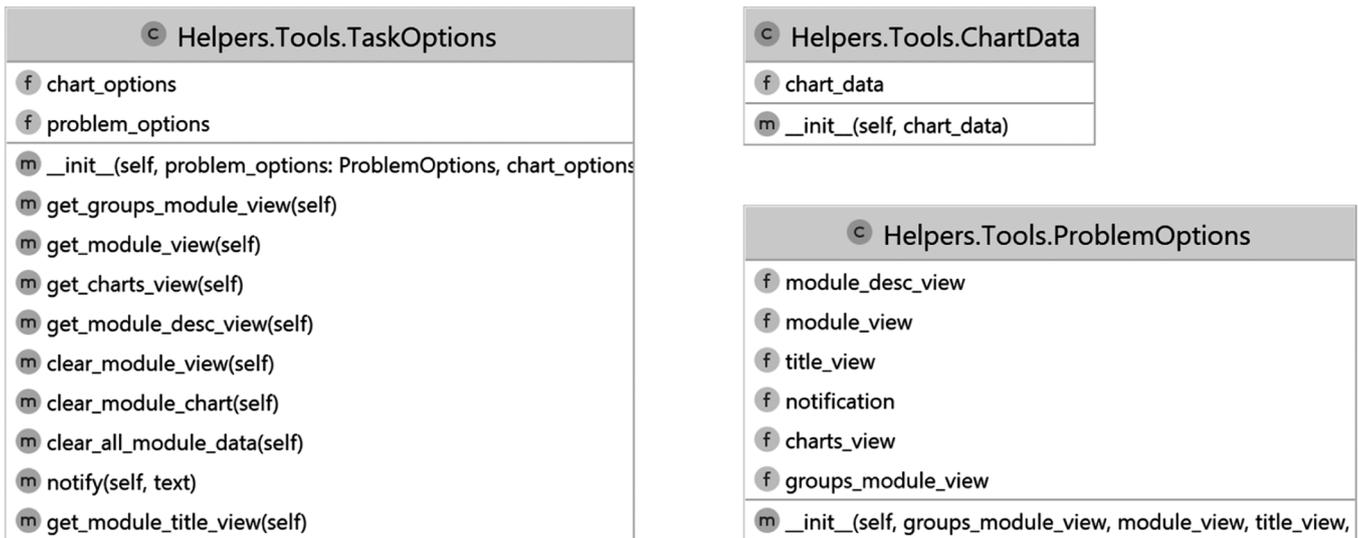


Рис. 7. Диаграмма классов структур данных внешней системы

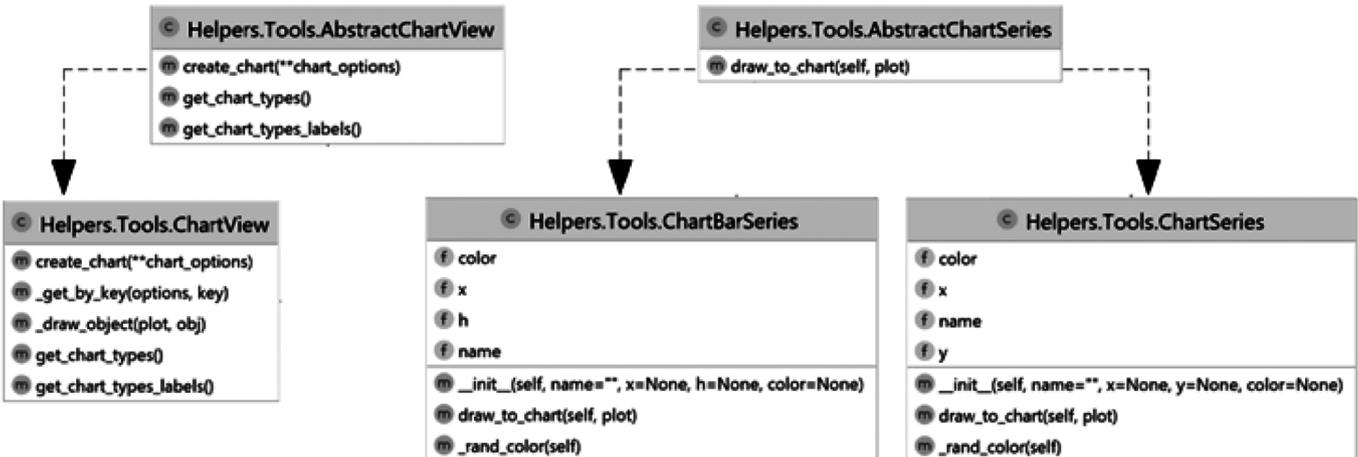


Рис. 8. Диаграмма классов инструментов внешней системы

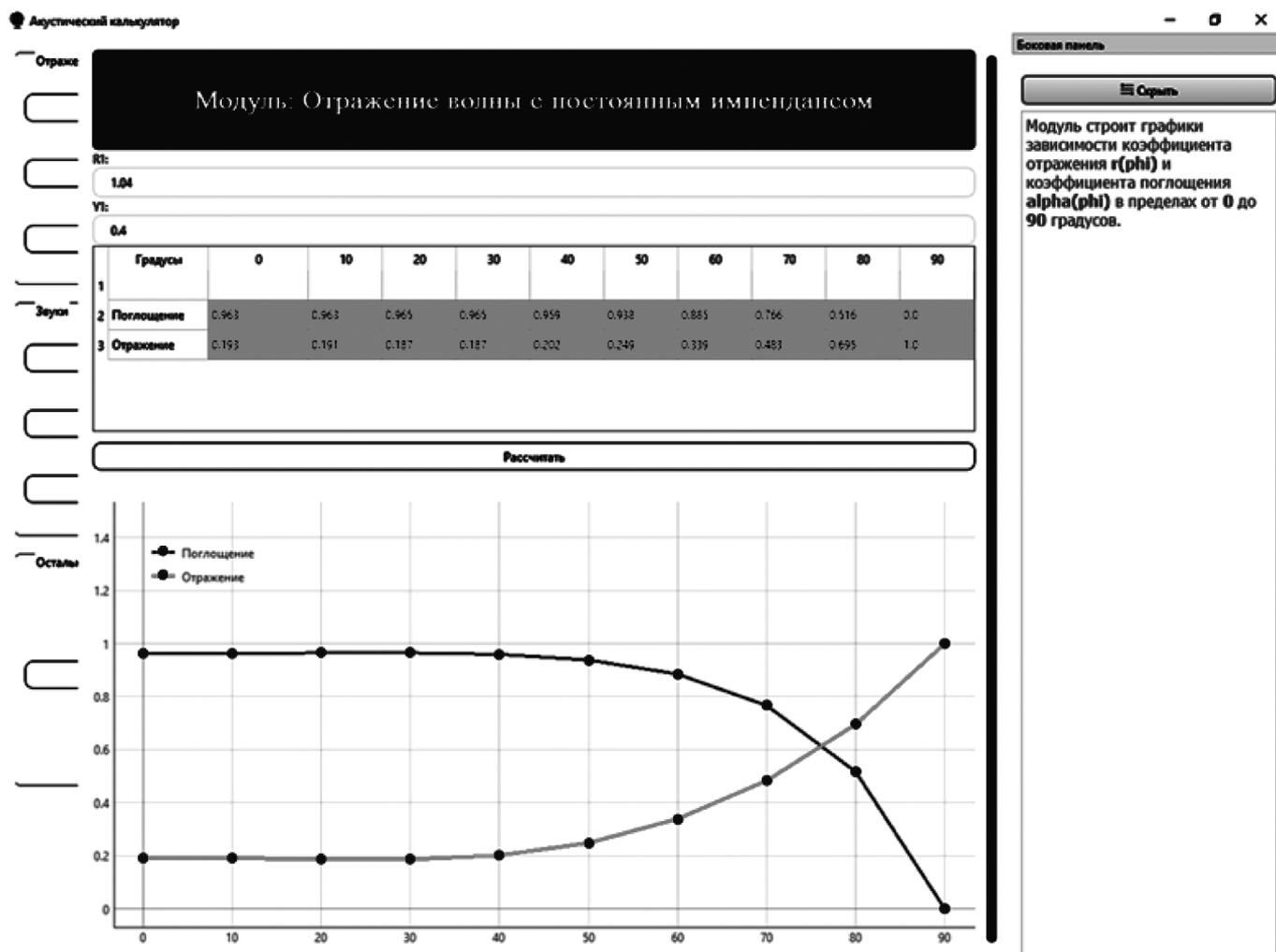


Рис. 9. Вычисление отражения волны с постоянным импедансом

Специфичный для каждой задачи код, заключается в создании уникального для каждой задачи интерфейса и реализации математических расчётов.

На данный момент, как уже было указано ранее, в ИС реализованы заявленные в начале задачи.

После создания всех перечисленных модулей нами было проведено тестирование системы и проверена правильность расчетов (см.рисунок 9).

Все расчеты выполнены правильно и результаты представлены в требуемой форме. Данная система может использоваться, как для акустических расчетов и исследований, так и в учебном процессе.

Плюсом данной системы является возможность отображения результатов в графическом виде, что значительно облегчает усвоение предмета студентами строительных специальностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вощукова, Е.А. Физические основы строительной акустики: учебно-пособие для студентов очного и заочного обучения (направление подготовки бакалавров «Строительство») / Е.А.Вощукова. — Брянск: БГИТА, 2011. — 96 с.
2. Прусс Б.Н., Иванов М.А., Камшило М.П. К вопросу снижения транспортного шума в городской среде//Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2015.— Т. 3. № 6 (17). — С. 174–178.
3. Плескачева О.Ю., Прусс Б.Н., Романов В.А., Соболева Г.Н. Разработка информационной системы геодезических расчетов и исследований//Современная наука: актуальные проблемы теории и практики: Серия «Естественные и Технические науки». — № 6.— 2024.— С.110–116.

© Плескачева Ольга Юрьевна (pleskacheva@inbox.ru); Прусс Борис Наумович (prussbor@gmail.com); Романов Виктор Александрович (vromanov62@mail.ru)  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

**Терешенко Андрей Алексеевич**

Аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический)  
Федеральный Университет имени М.В. Ломоносова»,  
г. Архангельск  
andrey.tereshenko2017@mail.ru

## ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF PROCESSES IN TECHNICAL SYSTEMS USING TEXT DATA PROCESSING

**A. Tereshenko**

*Summary.* Modern technical systems combine hardware, software, and information resources to form complex structures that critical functions depend on. A significant portion of the data in such systems is presented in text form, including technical documentation, reports, and protocols. However, existing methods for processing text information are not sufficiently adapted to work with technical vocabulary and specialized contexts, which limits their use in control, diagnostics, and forecasting tasks. As part of the study, methods for processing text data were developed aimed at optimizing processes in technical systems. The proposed approach is based on the integration of methods of system analysis, machine learning, and text processing. The main focus is on creating specialized models that take into account the specifics of technical information, structure and classify data, and predict their impact on key processes. The results of the work contribute to increasing the reliability, performance, and adaptability of technical systems. The study has practical and scientific significance, providing tool solutions for analyzing text data in engineering and laying the foundation for further developments in this area.

*Keywords:* technical systems, text data processing, machine learning, system analysis, technical documentation, text information, process optimization, forecasting, diagnostics, engineering.

*Аннотация.* Современные технические системы объединяют оборудование, программное обеспечение и информационные ресурсы, образуя сложные структуры, от которых зависят критически важные функции. Существенная часть данных в таких системах представлена в текстовой форме, включая техническую документацию, отчеты и протоколы. Однако существующие методы обработки текстовой информации недостаточно адаптированы для работы с технической лексикой и специализированными контекстами, что ограничивает их применение в задачах управления, диагностики и прогнозирования. В рамках исследования разработаны методы обработки текстовых данных, ориентированные на оптимизацию процессов в технических системах. Предложенный подход основан на интеграции методов системного анализа, машинного обучения и обработки текстов. Основное внимание уделено созданию специализированных моделей, которые учитывают особенности технической информации, структурируют и классифицируют данные, а также позволяют прогнозировать их влияние на ключевые процессы. Результаты работы способствуют повышению надежности, производительности и адаптивности технических систем. Исследование имеет практическую и научную значимость, предоставляя инструментальные решения для анализа текстовых данных в инженерии и закладывая основу для дальнейших разработок в этой области.

*Ключевые слова:* технические системы, обработка текстовых данных, машинное обучение, системный анализ, техническая документация, текстовая информация, оптимизация процессов, прогнозирование, диагностика, инженерия.

На сегодняшний день текстовые данные представляют собой неструктурированную информацию, включающую документы, отчеты, инструкции и комментарии, играющие ключевую роль в проектировании, эксплуатации и обслуживании технических систем. Они содержат сведения о характеристиках оборудования, результатах анализа, рекомендациях и реальных условиях эксплуатации. В отличие от структурированных данных, текстовые данные требуют специализированных методов анализа, что делает их обработку сложной, но ценной для оптимизации и модернизации систем. Их универсальность и доступность обеспечивают широкое применение в информационных технологиях и системном проектировании. Текстовые данные в технических системах классифицируются по структуре, формату, источнику, назначению, сложно-

сти и степени структурированности. Такая классификация позволяет эффективно обрабатывать текстовую информацию для оптимизации работы технических систем. Обработка текстовых данных включает извлечение, анализ и представление информации с использованием методов предобработки, машинного обучения и текстовых редакторов. Предобработка очищает данные с помощью токенизации, нормализации, удаления стоп-слов, лемматизации и стемминга, упрощая дальнейший анализ. Методы анализа, такие как частотный и семантический анализ, помогают выявить ключевые темы, связи и эмоции текста. Машинное обучение автоматизирует задачи классификации, извлечения информации и создания виртуальных помощников, применяя RNN, CNN и трансформеры для эффективной обработки текста. Текстовые данные обеспечивают инженеров ключевой инфор-

мацией для разработки, проектирования и внедрения технологий. Они включают технические документы, научные статьи, аналитические отчеты и учебные материалы, способствуя изучению решений, сравнительному анализу технологий и генерации инновационных идей. Текстовые данные важны для командной коммуникации через документацию процессов и обратную связь, а также для повышения квалификации инженеров через книги, статьи и кейс-стадии. Их обработка позволяет выявлять закономерности, проблемы и новые возможности, что улучшает эффективность инженерного творчества и инноваций.

На сегодняшний день технический объект представляет собой основную часть разработанной системы, которая направлена на автоматизацию процессов обработки и анализа текстовых данных. Технический объект — это созданное человеком или автоматом устройство, предназначенное для удовлетворения потребностей, будь то отдельная машина, прибор, здание, технологическая линия или программное обеспечение. Технический объект включает элементы, такие как узлы и детали, а также комплексы машин и систем, например, заводы или цеха. Основная цель — удовлетворение потребностей человека при соблюдении целесообразности и эффективности. В данном исследовании в качестве технического объекта рассмотрим автоматизированную систему обработки текстовых данных, которую можно будет применить в науке, бизнесе и промышленности для анализа информации, а также оптимизации решений.

Проблема исследования заключается в том, что современные методы обработки текстовой информации недостаточно эффективны для работы с данными технических систем, где важны специфика терминологии и контексты. Для решения нужно разработать методы, учитывающие эти особенности, с использованием системного анализа, машинного обучения и обработки текстов. Проблемы включают сложность данных, высокие требования к точности и отсутствие универсальных алгоритмов. Решение улучшит точность и скорость обработки, что приведет к снижению затрат и повышению надежности систем, а также ускорит технологический прогресс и рост конкурентоспособности.

Существующие системы анализа текстов имеют несколько существенных проблем. Во-первых, они часто ориентированы на общий текст и плохо адаптируются под специфические задачи, что ограничивает их применение в таких областях, как промышленность или наука. Во-вторых, они не учитывают контекст, тональность и эмоциональную окраску текста, что важно при анализе данных, связанных с человеческими факторами, например, отзывов и комментариев. Это приводит к необходимости ручного анализа, который может быть субъективным и подверженным ошибкам. Для улучше-

ния ситуации необходимы специализированные системы, учитывающие контекст и минимизирующие влияние человеческого фактора. Также важно снизить сложность настройки системы под новые области знаний и повысить ее адаптивность. Для улучшения систем целесообразно добавить новые функциональные элементы, например, модуль семантического анализа для учета контекста текстов, компонент оценки тональности для анализа отзывов и социальных медиа, а также механизм самообучения для адаптации к изменяющимся условиям. Удобный интерфейс позволит гибко настраивать систему под конкретные задачи. Кроме того, необходимо исключать устаревшие или избыточные элементы, такие как старые алгоритмы или функции, которые усложняют систему. Оптимизация достигается перераспределением функций, например, перенаправлением первичной фильтрации данных в компонент предварительной обработки. Разделение элементов, совмещающих несколько функций, также повысит эффективность, например, разделение универсального модуля анализа текста на модули для лексического, синтаксического и семантического анализа.

Разработка автоматизированной системы обработки текстовых данных должна обеспечивать высокую эффективность. Система должна обеспечивать точность извлечения ключевых данных не менее 95 % и распознавание специализированной технической терминологии на уровне 98 %. Она должна поддерживать обработку текстов разного объема, включая крупные массивы данных. Технологическая эффективность включает производительность, то есть большие объемы текста должны обрабатываться эффективно. Система должна поддерживать русский язык и учитывать технические термины и контекст. Экономическая целесообразность заключается в минимизации затрат на внедрение и эксплуатацию, а также оптимизации энергопотребления и вычислительных ресурсов. Для улучшения взаимодействия с пользователем интерфейс должен быть интуитивно понятным, с возможностью гибкой настройки параметров анализа и визуализацией результатов, что снижает когнитивную нагрузку и повышает производительность. Как итог, идеальное техническое решение для автоматизированной системы обработки текстовых данных заключается в создании платформы, обеспечивающей точное и быстрое извлечение информации из текстов любых форматов и объемов. Система должна быть автономной, обучаемой и адаптируемой к новым областям с минимальным вмешательством человека. Важным элементом является использование методов машинного обучения и обработки естественного языка (NLP), что позволяет учитывать контекст, специализированную лексику и работать с текстами на разных языках. Система должна интегрироваться с внешними источниками данных и базами знаний, иметь модульную архитектуру для масштабирования и добавления новых функций. Она

должна минимизировать участие человека в рутинных процессах, позволяя сосредоточиться на интерпретации результатов и принятии решений, что повысит производительность и точность, делая систему незаменимым инструментом в промышленности, науке и бизнесе.

Для достижения описанных выше аспектов было разработано несколько алгоритмов. Разработка алгоритмов для модели является ключевым элементом исследования, направленным на автоматизацию анализа больших объёмов текстовых данных. Первый разработанный алгоритм начинается с автоматического запуска процесса обучения при изменении данных. Он проверяет обновления в датасете, и, если изменения обнаружены, запускает повторное обучение модели. В процессе обучения выполняется предварительная обработка данных, включая создание словаря и векторизацию текстов. Затем обучается модель логистической регрессии, и обновлённые данные сохраняются для дальнейшего использования.

Этот процесс обеспечивает актуализацию модели, что важно для поддержания высокой точности и эффективности. Также был разработан алгоритм для автоматической классификации текста по эмоциональной окраске. Он начинается с добавления текста пользователем, после чего текст проходит предварительную обработку: токенизацию, удаление стоп-слов и преобразование в векторное представление с использованием словаря. Далее текст анализируется для определения тональности и классификации. Алгоритм оценивает степень уверенности модели в классификации, распределяя баллы: если Score < 0,49 — негативный, = 0,50 — нейтральный, > 0,51 — положительный. Это позволяет точно интерпретировать результаты, предоставляя количественную меру уверенности. Уникальность алгоритма заключается в адаптации для русскоязычных технических текстов, учитывающих их специфические особенности и терминологию, что делает модель особенно полезной в технических системах. В итоге, архитектура

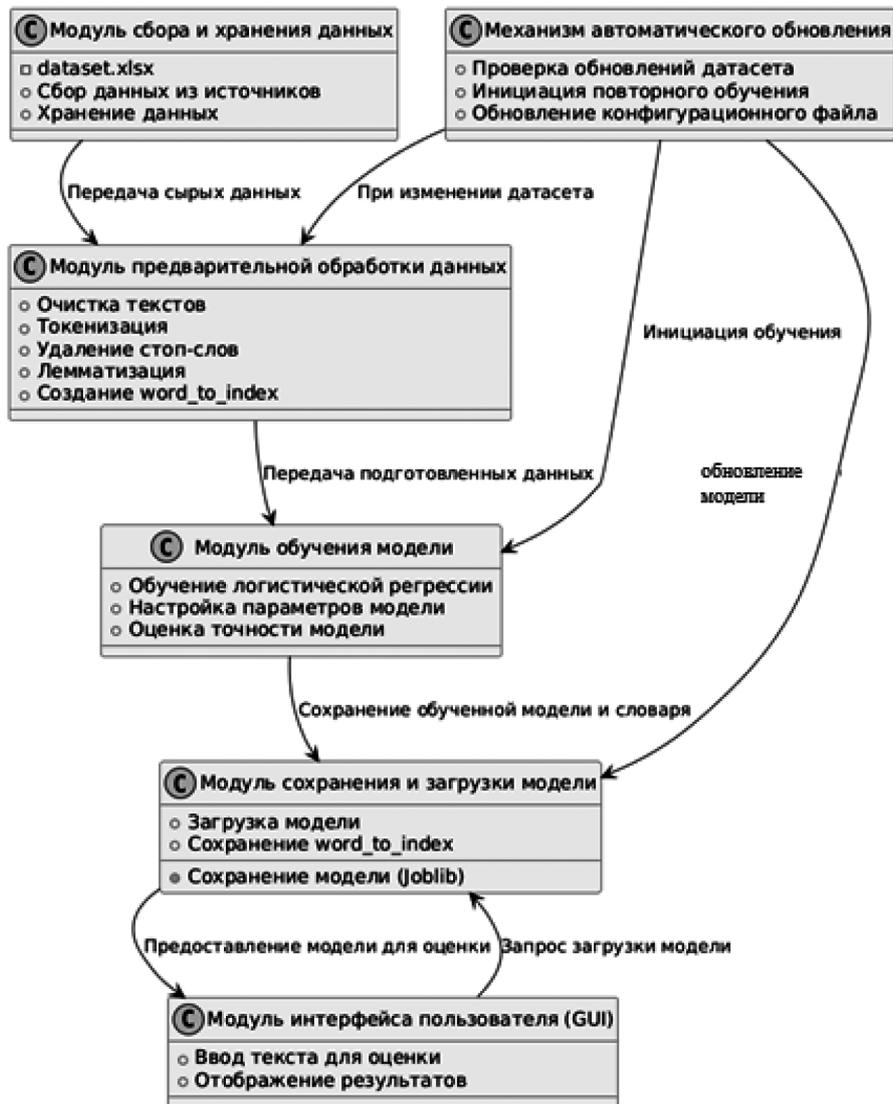


Рис. 1. Общая схема архитектуры модели

модели представляет собой интегрированную систему для анализа и классификации текстовых данных на русском языке, основываясь на модели логистической регрессии, обученной на специализированных данных, рисунок 1.

Система включает модули сбора данных, предварительной обработки (токенизация, очистка, удаление стоп-слов), обучения модели, сохранения и загрузки модели, а также интерфейс пользователя для ввода тек-

стов и просмотра результатов. Ключевая особенность архитектуры — автоматическое обновление модели при изменении данных, что поддерживает актуальность и точность без необходимости ручного вмешательства, обеспечивая гибкость и адаптивность системы.

Далее было разработано приложение для удобства работы пользователя при анализе текстовых данных. Оно предоставляет интуитивно понятный интерфейс для ввода и обработки текстовых и аудиоданных, а так-

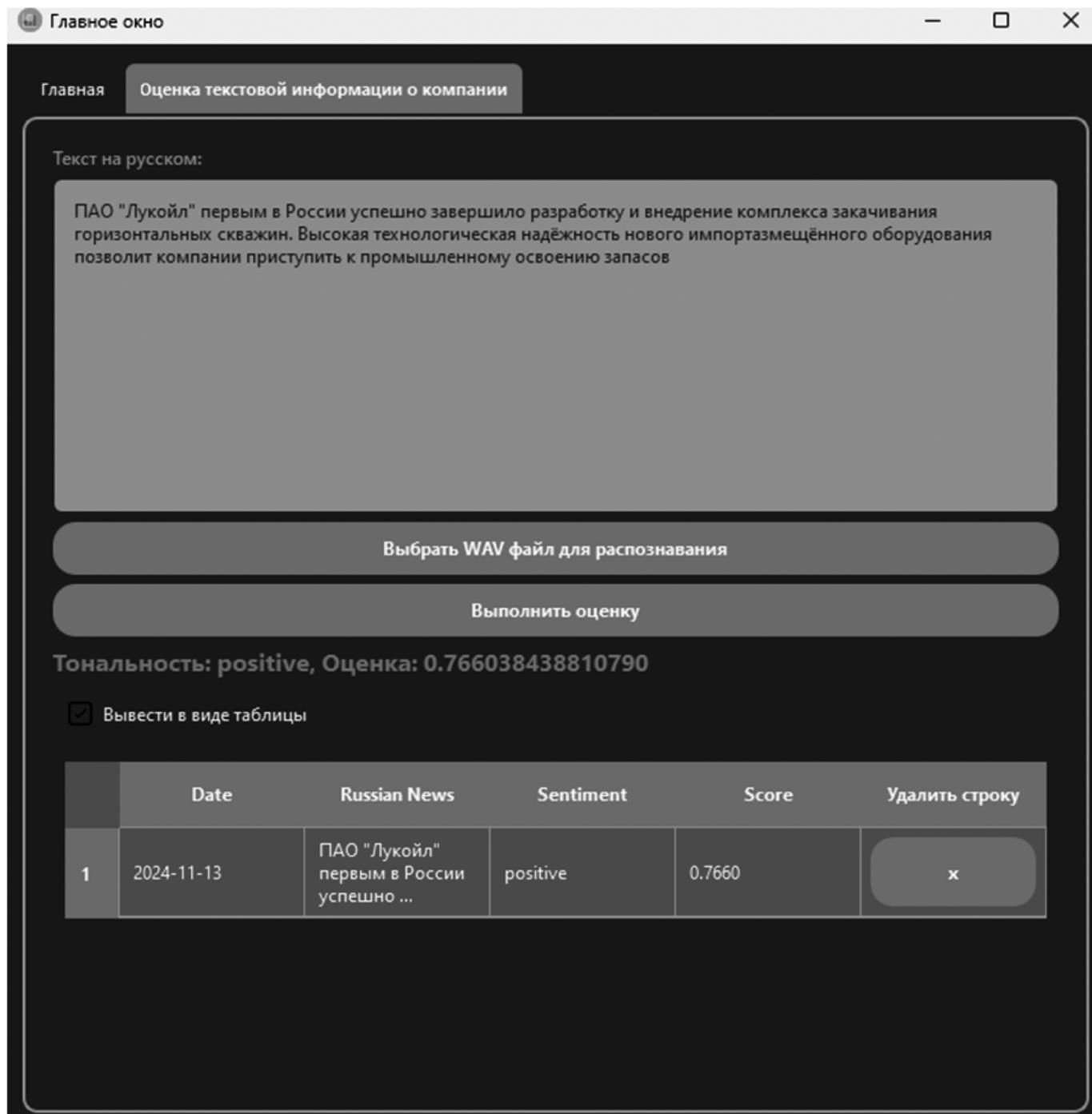


Рис. 2. Интерфейс и работа приложения

же визуализации результатов анализа, что помогает оптимизировать процессы в технических системах. Приложение построено с использованием Python, Tkinter для интерфейса и Joblib и Scikit-learn для работы с моделью. Модульная архитектура приложения обеспечивает гибкость, расширяемость и простоту использования. Система автоматически обновляет модель, что повышает её точность и эффективность, а также позволяет интегрировать новые функции в будущем. Для оптимизации взаимодействия пользователя с системой, особенно при работе с текстовыми данными, предусмотрены альтернативные способы ввода, такие как голосовое введение и загрузка аудиофайлов. Для реализации транскрипции речи интегрирован модуль VOSK, поддерживающий более 20 языков и диалектов, включая русский. Этот модуль позволяет эффективно распознавать речь в офлайн-режиме на устройствах с ограниченными ресурсами, имеет компактный размер (около 50 Мб) и поддерживает потоковый API с нулевой задержкой, а также динамическую настройку словаря и идентификацию говорящих. Как итог, для удобного взаимодействия пользователей с моделью анализа текстовой информации была разработана система упрощённого интерфейса. В приложении интегрирована разработанная ранее модель для анализа текста и транскрипции аудио в текст, что позволяет пользователям использовать функционал без глубоких знаний в области машинного обучения, рисунок 2.

Взаимодействие с моделью осуществляется через модуль, который обрабатывает текст (токенизация, удаление стоп-слов) и передает его на классификацию. Результаты возвращаются обратно в интерфейс. Также предусмотрен модуль автоматического обновления, который отслеживает изменения в датасете и обновляет модель. Это обеспечивает высокую точность и актуальность без вмешательства пользователя.

Итоговый вывод заключается в том, что данное исследование представляет собой значительный шаг в оптимизации процессов обработки и анализа текстовых данных, что напрямую влияет на повышение эффективности принятия решений в различных сферах, включая промышленность, бизнес, науку и управление. Внедрение автоматизированной системы, сочетающей методы

обработки естественного языка (NLP) и машинного обучения, позволяет существенно ускорить и улучшить качество анализа больших объемов текстовой информации, что ранее требовало значительных временных и человеческих ресурсов. Эффективная обработка текстовых данных, включая их классификацию, предоставляет пользователю инструменты для более точного и обоснованного принятия решений в условиях неопределенности. Одним из глобальных достижений данной разработки является возможность динамического обновления модели, что способствует поддержанию её актуальности и точности в условиях постоянного изменения данных. Это позволяет системе адаптироваться к новым источникам информации и быстро реагировать на изменения в окружении, обеспечивая оперативное принятие решений. В традиционных системах анализа данные часто устаревают, что снижает их ценность для принятия обоснованных решений. Автоматизация процесса обновления модели исключает человеческий фактор в этом процессе, что минимизирует вероятность ошибок и повышает надёжность принимаемых решений. Кроме того, интеграция различных функциональных компонентов — от моделирования и обработки текстов до транскрипции аудио и визуализации данных — позволяет пользователю взаимодействовать с системой через интуитивно понятный интерфейс, что упрощает доступ к аналитической информации без необходимости глубоких знаний в области технологий машинного обучения. Это расширяет круг пользователей, которые могут эффективно работать с системой, что в свою очередь способствует более широкому применению в различных организационных контекстах, включая бизнес-аналитику, стратегическое планирование и управление рисками. Также значительно снижается время, необходимое для получения результатов, и повышается точность этих результатов. Это позволяет организациям быстрее реагировать на изменения в информации, выстраивать более обоснованные стратегии и принимать более точные решения. Таким образом, разработка не только улучшает процессы анализа и обработки текстовых данных, но и способствует более высокому уровню автоматизации принятия решений, что существенно повышает общую эффективность управления и снижает риски, связанные с недостаточной точностью анализа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Половинкин. Основы инженерного творчества. Учебное пособие для вузов, 8-е изд., стер. ISBN: 978-5-507-45273-6, 362 стр, 2019 год.
2. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ / Изд. 3-е. М.: Юрайт, 2022. — 562 с.
3. Тарасенко, Ф.П. Прикладной системный анализ: учебное пособие / Ф. П. Тарасенко. — 2-е изд. — М.: КноРус, 2021. — 321 с.
4. Метрики в задачах машинного обучения [Электронный ресурс]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/ods/articles/328372/> (дата обращения: 26.10.2024).
5. Метрики в машинном обучении: понимание, применение и интерпретация [Электронный ресурс]. — URL: <https://shakhbanov.org/metriki-v-mashinnom-obuchanii/> (дата обращения: 26.10.2024).

© Терешенко Андрей Алексеевич (andrey.tereshenko2017@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ГЛОБАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ КОРПОРАТИВНЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

## ANALYSIS OF INFORMATION SOLUTIONS FOR GLOBALLY DISTRIBUTED PROCESSING OF CORPORATE DATA IN REAL-TIME SYSTEMS USING CLOUD TECHNOLOGIES

**D. Titov**  
**O. Romashkova**  
**S. Chiskidov**

*Summary.* The article provides a comprehensive analysis of information solutions used for globally distributed processing of corporate data in real-time systems using cloud technologies. In the conditions of accelerating digital transformation and globalisation of business, companies are faced with the need to efficiently process large volumes of data coming from various geographically distributed sources. Modern solutions, including distributed databases, streaming data processing technologies, and cloud services from leading providers are considered. Special attention is paid to microservice architecture and containerisation as tools for developing flexible and scalable applications. Practical cases of successful implementation of these technologies in large corporations are presented, the results obtained and benefits for business are analysed. On the basis of the study, recommendations are formulated on the effective implementation and use of the technologies under consideration to improve the productivity and competitiveness of organisations in today's digital economy.

*Keywords:* globally distributed data processing, enterprise data, real-time systems, cloud technologies, distributed databases, streaming data processing, containerisation, microservice architecture, scalability.

**Титов Дмитрий Андреевич**

Аспирант, ГАОУ ВО города Москвы «Московский  
городской педагогический университет (МГПУ)»  
pointtitov@yandex.ru

**Ромашкова Оксана Николаевна**

Доктор технических наук, профессор, профессор,  
Российская академия народного хозяйства  
и государственной службы при Президенте РФ  
(РАНХиГС)», г. Москва, Россия  
ox-rom@yandex.ru

**Чискидов Сергей Васильевич**

Кандидат технических наук, доцент, профессор  
ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»  
chis69@mail.ru

*Аннотация.* В статье проводится всесторонний анализ информационных решений, применяемых для глобально распределённой обработки корпоративных данных в системах реального времени с использованием облачных технологий. В условиях ускоряющейся цифровой трансформации и глобализации бизнеса, компании сталкиваются с необходимостью эффективной обработки больших объёмов данных, поступающих из различных географически распределённых источников. Рассмотрены современные решения, включая распределённые базы данных, технологии потоковой обработки данных, а также облачные сервисы ведущих провайдеров. Особое внимание уделено микросервисной архитектуре и контейнеризации как инструментам для разработки гибких и масштабируемых приложений. Приведены практические кейсы успешного внедрения этих технологий в крупных корпорациях, проанализированы полученные результаты и выгоды для бизнеса. На основе проведенного исследования сформулированы рекомендации по эффективному внедрению и использованию рассматриваемых технологий для повышения производительности и конкурентоспособности организаций в условиях современной цифровой экономики.

*Ключевые слова:* глобально распределённая обработка данных, корпоративные данные, системы реального времени, облачные технологии, распределённые базы данных, потоковая обработка данных, контейнеризация, микросервисная архитектура, масштабируемость.

### Введение

В современную эпоху цифровой трансформации и глобализации организации сталкиваются с постоянно растущими объемами данных, которые требуют эффективной и своевременной обработки. Глобально распределённая обработка корпоративных данных становится критически важной для обеспечения конкурентоспособности и оперативности бизнес-процессов.

Это обусловлено необходимостью быстрого принятия решений на основе актуальной информации, доступной в режиме реального времени независимо от географического расположения подразделений компании.

Системы реального времени играют ключевую роль в этом процессе, обеспечивая непрерывный поток данных и возможность мгновенной реакции на изменения внешней и внутренней среды. Они позволяют организа-

циям мониторить операции в режиме онлайн, оптимизировать логистические цепочки, управлять рисками и улучшать качество обслуживания клиентов. В условиях высокой динамики рынка задержки в обработке данных могут приводить к упущенным возможностям и снижению эффективности бизнеса.

Облачные технологии выступают в качестве фундаментального инструмента для реализации глобально распределенных систем обработки данных. Они предоставляют масштабируемые и гибкие ресурсы, позволяющие обрабатывать большие объемы данных с высокой скоростью и надежностью. Кроме того, ИТ-решения, разработанные с применением облачных технологий, снижают затраты на инфраструктуру, обеспечивают доступность сервисов из любой точки мира, а также упрощают интеграцию различных информационных систем. Это особенно важно для корпоративных структур с разветвленной сетью филиалов и подразделений [1, 2].

Цель данной статьи — провести детальный анализ информационных решений, используемых для глобально распределенной обработки корпоративных данных в системах реального времени с применением облачных технологий. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать современные распределенные базы данных и технологии обработки данных, такие как NoSQL и NewSQL системы, а также платформы потоковой обработки данных, включая Apache Kafka и Apache Flink. Анализ их характеристик позволит определить наиболее подходящие решения для различных корпоративных задач.
2. Исследовать модели предоставления облачных услуг (IaaS, PaaS, SaaS) и их применение в контексте корпоративных информационных систем.
3. Рассмотреть платформы ведущих облачных провайдеров, таких как AWS, Microsoft Azure и Google Cloud, и оценить их возможности для поддержки систем реального времени.
4. Проанализировать практические кейсы успешной реализации глобально распределенных систем обработки данных в крупных корпорациях. Это позволит выявить эффективные стратегии внедрения и использования рассматриваемых технологий, а также оценить полученные результаты и выгоды для бизнеса.

Проведение данного анализа имеет важное значение для понимания текущих тенденций и перспектив развития информационных технологий в корпоративной сфере. Результаты исследования будут полезны для ИТ-менеджеров, системных архитекторов и специалистов по данным, занимающихся разработкой и внедрением высокопроизводительных и масштабируемых систем обработки данных. Кроме того, статья способствует фор-

мированию рекомендаций по оптимизации существующих решений и повышению эффективности бизнес-процессов за счет использования передовых технологий.

### Информационные технологии для глобально распределенной обработки данных в системах реального времени

Современные корпоративные структуры все чаще сталкиваются с необходимостью обработки огромных объемов данных, поступающих из различных географически распределенных источников. Для эффективного управления этими данными в режиме реального времени используются специализированные информационные технологии, которые обеспечивают высокую производительность, масштабируемость и надежность систем. В данном разделе рассматриваются ключевые технологии и решения, способствующие реализации глобально распределенной обработки данных в корпоративной среде с использованием облачных технологий.

Одной из фундаментальных основ для обработки больших объемов данных являются распределенные базы данных. Традиционные реляционные базы данных (SQL) не всегда справляются с требованиями современных приложений, особенно когда речь идет о горизонтальном масштабировании и обработке неструктурированных данных [3, 4]. В связи с этим широкое распространение получили NoSQL-системы, такие как Cassandra, MongoDB и HBase. Они обеспечивают высокую доступность и позволяют эффективно работать с распределенными данными, поддерживая модель eventual consistency, что приемлемо для многих приложений.

В дополнение к NoSQL-системам, развивается концепция NewSQL — класс реляционных систем управления базами данных, которые сочетают в себе преимущества реляционных моделей с возможностями горизонтального масштабирования NoSQL [5]. Примеры таких систем включают CockroachDB и Google Spanner. Они обеспечивают сильную согласованность данных и поддерживают транзакции ACID, что важно для критически важных корпоративных приложений.

Для обработки потоковых данных в реальном времени используются технологии потоковой обработки, такие как Apache Kafka и Apache Flink. Apache Kafka является распределенной платформой для передачи и хранения потоков данных, позволяя обрабатывать миллионы событий в секунду. Она используется для организации очередей сообщений и обеспечения высокой производительности и надежности передачи данных между сервисами. Apache Flink, в свою очередь, предоставляет возможности для распределенной обработки потоков данных и выполнения сложных аналитических

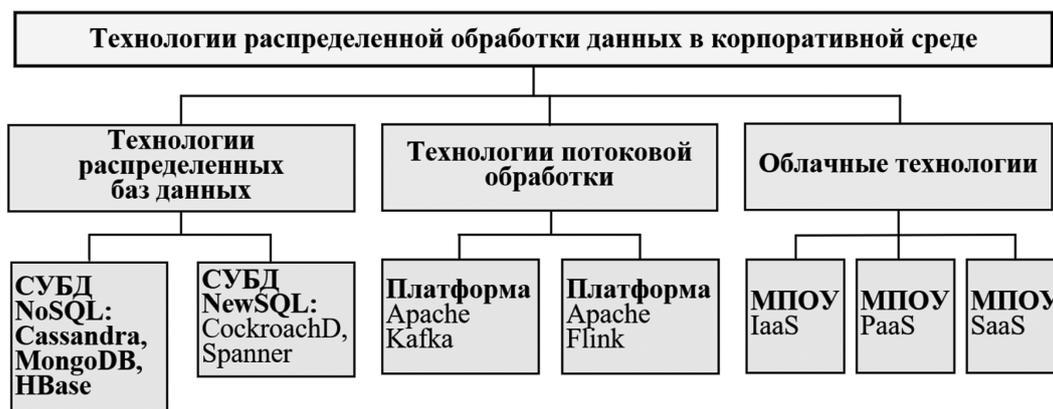


Рис. 1. Схема классификации технологий распределенной обработки данных в корпоративной среде

задач в режиме реального времени. Его архитектура позволяет обрабатывать данные с низкими задержками и высокой пропускной способностью [6, 7].

Облачные технологии играют ключевую роль в обеспечении инфраструктуры для глобально распределенной обработки данных. Модели предоставления облачных услуг (МПОУ) — IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service) и SaaS (Software as a Service) — позволяют организациям выбирать наиболее подходящий уровень абстракции и управляемости. IaaS предоставляет виртуализированные вычислительные ресурсы, PaaS предлагает платформы для разработки и развертывания приложений, а SaaS обеспечивает доступ к готовым программным продуктам через интернет [8].

Возможная схема классификации технологий распределенной обработки данных в корпоративной среде изображена на рисунке 1.

Крупнейшие зарубежные облачные провайдеры, такие как Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure и Google Cloud Platform (GCP), предлагают широкий спектр сервисов для поддержки систем реального времени.

Например, AWS предоставляет сервисы Amazon Kinesis для сбора и обработки потоковых данных, Amazon DynamoDB как высокопроизводительную NoSQL базу данных, и AWS Lambda для безсерверных вычислений. Microsoft Azure предлагает аналогичные сервисы, включая Azure Event Hubs, Azure Cosmos DB и Azure Functions.

Таблица 1.

Возможности популярных сервисов и решений для поддержки систем реального времени от отечественных облачных провайдеров

№ п/п	Облачный провайдер	Название сервиса	Назначение сервиса	Зарубежный аналог
1	Яндекс.Облако	Яндекс.Cloud Functions	Серверлесс-архитектура, которая позволяет запускать код в ответ на события	Amazon CloudFront
2	Яндекс.Облако	Яндекс.Stream	Сервис для обработки потоковых данных	Amazon Kinesis
3	Mail.Ru Cloud Solutions	Mail.Ru Cloud	Платформа для развертывания приложений и сервисов, обрабатывающие данные в реальном времени	Amazon Kinesis
4	Ростелеком	Restream IIoT	Платформа для для сбора, первичной обработки и доставки данных с датчиков в ИС компании-клиента	Siemens MindSphere
5	Selectel	Облачные серверы и Kubernetes	Развертывание контейнеризированных приложений	Red Hat OpenShift, VMware Tanzu, SUSE Rancher
6	Cloud4Y	–	Платформы для развертывания приложений и сервисов, обрабатывающие данные в реальном времени	Microsoft Azure, Amazon Web Services, Google Cloud Platform
7	VK	VK Cloud		
8	СБЕР	SberCloud –		
9	МТС	Cloud MTS		
10	ВымпелКом	Beeline Cloud		

GCP предоставляет Google BigQuery для анализа больших данных и Google Pub/Sub для асинхронной передачи сообщений.

Перечень популярных сервисов и решения для поддержки систем реального времени, предлагаемых отечественными облачными провайдерами, приведены в таблице 1.

Микросервисная архитектура становится все более популярной в разработке корпоративных приложений, позволяя разделять сложные системы на небольшие, независимо разворачиваемые компоненты.

Контейнеризация с использованием Docker и оркестрация контейнеров с помощью Kubernetes упрощают развертывание и управление микросервисами в облачной среде [6, 9].

Это обеспечивает гибкость и ускоряет процесс разработки и обновления приложений, что особенно важно для систем, работающих в реальном времени.

Практические кейсы применения этих технологий демонстрируют их эффективность. Например, глобальные компании, такие как Netflix и Uber, активно используют микросервисную архитектуру и облачные технологии для обеспечения надежной и масштабируемой обработки данных в реальном времени. Netflix использует AWS для развертывания своей инфраструктуры, включая Amazon Kinesis и Amazon DynamoDB для обработки и хранения данных о пользовательской активности, что позволяет предоставлять персонализированные рекомендации и улучшать качество сервиса [10]. Uber применяет Apache Kafka и Apache Flink для обработки данных о поездках и оптимизации маршрутов в режиме реального времени, обеспечивая высокую производительность и низкие задержки.

Анализ полученных результатов и выгод от внедрения этих технологий показывает значительное улучшение показателей производительности и эффективности бизнес-процессов. Компании отмечают снижение затрат на инфраструктуру, повышение скорости обработки данных и улучшение качества сервисов для конечных пользователей. Использование облачных технологий позволяет организациям быстро масштабировать ресурсы в соответствии с текущими потребностями, избегая избыточных расходов и сложностей управления физической инфраструктурой [11].

В целом, интеграция распределенных баз данных, технологий потоковой обработки данных и облачных решений создает прочную основу для глобально распределенной обработки корпоративных данных в системах реального времени [12]. Это открывает новые

возможности для анализа больших данных, принятия обоснованных решений и повышения конкурентоспособности на рынке. Однако успешное внедрение этих технологий требует тщательного планирования, учета специфики бизнес-процессов и обеспечения безопасности и надежности систем.

### Заключение

Проведенный анализ информационных решений для глобально распределенной обработки корпоративных данных в системах реального времени с использованием облачных технологий подтвердил их критическую важность для современного бизнеса. Рост объемов данных и необходимость их оперативной обработки в глобальном масштабе требуют от компаний внедрения передовых технологических решений, способных обеспечить высокую производительность, масштабируемость и надежность.

Выводы по результатам анализа свидетельствуют о том, что использование распределенных баз данных, таких как NoSQL и NewSQL системы, позволяет эффективно управлять большими объемами структурированных и неструктурированных данных. Технологии потоковой обработки данных, представленные платформами Apache Kafka и Apache Flink, обеспечивают возможность обработки событий и данных в режиме реального времени с минимальными задержками, что является критически важным для принятия оперативных бизнес-решений.

Облачные технологии предоставляют необходимую инфраструктуру и сервисы для реализации таких систем. Модели предоставления облачных услуг (IaaS, PaaS, SaaS) и решения ведущих провайдеров (AWS, Azure, Google Cloud) позволяют компаниям быстро масштабировать ресурсы, снижать затраты и фокусироваться на разработке и совершенствовании бизнес-приложений. Микросервисная архитектура и контейнеризация с использованием Docker и Kubernetes упрощают процесс разработки, развертывания и управления приложениями, повышая их гибкость и устойчивость к нагрузкам.

Рекомендации для внедрения и использования рассматриваемых технологий включают следующие аспекты. Во-первых, компаниям следует провести тщательный анализ своих бизнес-процессов и требований к обработке данных, чтобы выбрать наиболее подходящие технологии и инструменты. Во-вторых, важно обеспечить профессиональное обучение персонала и привлечение экспертов для успешного внедрения новых систем. В-третьих, особое внимание необходимо уделить вопросам безопасности и защиты данных, включая разработку стратегий резервного копирования, восстановления после сбоев и соблюдения нормативных требований.

Практические кейсы успешной реализации рассмотренных технологий демонстрируют значительные преимущества, такие как повышение скорости обработки данных, улучшение качества сервисов и увеличение конкурентоспособности. Поэтому компаниям, стремящимся к лидерству в своих отраслях, рекомендуется активно внедрять и адаптировать эти технологии в соответствии с собственными потребностями и стратегическими целями.

В заключении можно сказать, что будущее отрасли отражает уверенность в том, что дальнейшее развитие информационных технологий будет еще более тесно связано с облачными решениями и системами реального времени. Ожидается, что интеграция с технологиями искусственного интеллекта и машинного обучения позволит создать еще более интеллектуальные и адап-

тивные системы обработки данных. Развитие сетей 5G и концепции Edge Computing расширит возможности обработки данных на периферии сети, снижая задержки и повышая эффективность.

В условиях стремительного развития технологий и роста требований к обработке данных компании должны быть готовы к постоянным изменениям и инновациям. Инвестиции в современные информационные технологии и облачные решения станут ключевым фактором успеха и устойчивого развития в цифровой экономике. Внедрение глобально распределенных систем обработки данных в реальном времени не только удовлетворяет текущие потребности бизнеса, но и закладывает фундамент для будущего роста и адаптации к новым вызовам рынка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Затирко О.К., Пынько Л.Е. Облачные технологии и их применение в сфере экономики и информационных технологий: достоинства и недостатки // В сборнике: Актуальные проблемы развития ЕАЭС в условиях современных глобальных изменений. Материалы первой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Под редакцией И.В. Цвигун, В.С. Колодина. 2019. С. 249–253.
2. Громей Д.Д., Лебеденко Е.В. Математическое обеспечение поддержки процесса управления схемой реляционной базы данных в задачах горизонтального масштабирования // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. № 2 (25). С. 65–79.
3. Кондрусева С.А. Технологии сбора и обработки больших массивов информации // В сборнике: Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук. Материалы VI Международной научно-практической конференции (школы-семинара) молодых ученых. 2020. С. 574–578.
4. Самарев Р.С. Обзор состояния области потоковой обработки данных. Труды Института системного программирования РАН. 2017. Т. 29. № 1. С. 231–260.
5. Латыпова Э.М., Кононов Н.А. К вопросу моделей облачных услуг SaaS, PaaS и IaaS: особенности и возможности // В сборнике: Наука, общество, образование в условиях цифровизации и глобальных изменений. Материалы III Международной научно-практической конференции. 2022. С. 7–9.
6. Манойло В.Е. Разработка инфраструктуры приложений на основе Docker и Kubernetes // Научно-технические инновации и веб-технологии. 2023. № 1. С. 17–20.
7. Горелов Г.В., Ромашкова О.Н., Чан Т.А. Качество управления речевым трафиком в телекоммуникационных сетях / Москва, Радио и связь, 2001. С. 132
8. Ромашкова О.Н., Ломовцев Р.С., Пономарева Л.А. Компьютерная поддержка принятия управленческих решений для образовательной системы регионального уровня // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2019. № 67. С. 50–58.
9. Наумов М.А., Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н., Чискидов С.В. Модель управления корпоративными вычислительными ресурсами образовательного комплекса // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 4-2. С. 40–47.
10. Заболотникова В.С., Ромашкова О.Н. Анализ методов кластеризации для эффективного управления процессами в налоговой службе // Фундаментальные исследования. 2017. № 9-2. С. 303–307.
11. Рябовичева О.В., Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н., Чискидов С.В. Процесс обработки и передачи виртуальных данных в вычислительных комплексах и компьютерных сетях вуза // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 7–2. С. 85–92.
12. 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.

© Титов Дмитрий Андреевич (pointtitov@yandex.ru); Ромашкова Оксана Николаевна (ox-rom@yandex.ru);

Чискидов Сергей Васильевич (chis69@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В CRM-СИСТЕМАХ

## USING BIG DATA ALGORITHMS IN CRM SYSTEMS

*M. Khomutinnikov*

*Summary.* The article is devoted to the analysis of the possibilities of using big data processing algorithms in CRM systems. The relevance of the topic is due to the growing digitalization of business and the need for personalized interaction with customers based on the analysis of data arrays. This paper examines the key Big Data algorithms used in CRM, their impact on improving the accuracy of forecasting customer needs, automating marketing processes, and improving the quality of service. The main purpose of the article is to identify the advantages and prospects of using Big Data algorithms in CRM systems. The research provides examples of using machine learning, data mining, and predictive analytics to segment customers, predict their behavior, and optimize business strategies. The results of the article can be useful for companies seeking to increase customer orientation, reduce marketing and sales costs, and improve the quality of management decision-making based on the analysis of large amounts of data.

*Keywords:* CRM system, big data, digitalization, automation, service, Big Data algorithms, marketing.

**Хомутильников Максим Андреевич**

Аспирант, Российская Академия Народного Хозяйства  
и Государственной Службы  
при Президенте Российской Федерации  
maxkhom5@gmail.com

*Аннотация.* Статья посвящена анализу возможностей применения алгоритмов обработки больших данных в CRM-системах. Актуальность темы обусловлена растущей цифровизацией бизнеса и необходимостью персонализированного взаимодействия с клиентами на основе анализа массивов данных. В настоящей работе рассматриваются ключевые алгоритмы Big Data, используемые в CRM, их влияние на повышение точности прогнозирования потребностей клиентов, автоматизацию маркетинговых процессов и улучшение качества обслуживания. Основная цель статьи состоит в выявлении преимуществ и перспектив использования алгоритмов Big Data в CRM-системах. В ходе исследования приводятся возможности использования машинного обучения, интеллектуального анализа данных и предиктивной аналитики для сегментации клиентов, прогнозирования их поведения и оптимизации бизнес-стратегий. Результаты статьи могут быть полезны для компаний, стремящихся повысить уровень клиентоориентированности, сократить издержки на маркетинг и продажи, а также улучшить качество принятия управленческих решений на основе анализа больших объемов данных.

*Ключевые слова:* CRM-система, большие данные, цифровизация, автоматизация, обслуживание, алгоритмы Big Data, маркетинг.

### Введение

На фоне цифровизации бизнеса и роста конкурентного давления российский рынок CRM-систем продолжает активно развиваться. По данным TAdviser, по итогам 2023 года его объем превысил 28 млрд рублей, а сам период стал временем адаптации и переориентации [1]. По предварительным оценкам, к концу 2024 года рынок CRM в России вырастет еще на 15 %, достигнув 32,4 млрд рублей (рис. 1). Однако на текущий момент отсутствуют подтвержденные результаты исследований за 2024 год. Тем не менее, наблюдаемые тенденции свидетельствуют о том, что CRM-системы продолжают оставаться ключевым инструментом управления взаимоотношениями с клиентами, а их функциональные возможности требуют постоянного совершенствования.

Современные компании сталкиваются с необходимостью интеграции инновационных технологий в CRM-системы для повышения их эффективности и качества работы. Одним из наиболее перспективных направлений развития является применение алгоритмов обработки больших данных (Big Data). Эти технологии позволяют автоматизировать анализ клиентских данных,

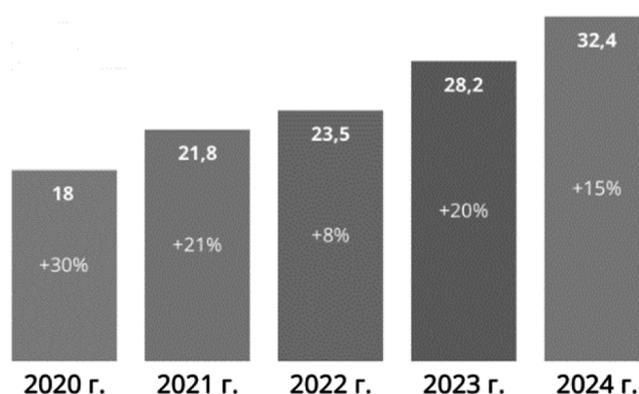


Рис. 1. Объем рынка CRM-систем в России в период 2020–2024 гг., в млрд руб.

формировать персонализированные предложения, прогнозировать поведение пользователей и оптимизировать маркетинговые стратегии. В рамках настоящей статьи рассматриваются вопросы использования алгоритмов больших данных в CRM-системах на момент текущего 2025 года, их влияние на бизнес-процессы, а также перспективы дальнейшего развития данных технологий в контексте цифровой трансформации.

## Результаты и обсуждение

Технологии больших данных представляют собой совокупность методов, инструментов и алгоритмов, предназначенных для обработки, анализа и интерпретации массивов информации, объем которых превышает возможности традиционных систем управления базами данных. Как отмечает Д.А. Медведев, большие данные — это не просто совокупность информационных массивов, а мощный ресурс, который позволяет выявлять закономерности, прогнозировать тренды и принимать обоснованные решения в различных сферах, включая экономику, здравоохранение и бизнес [2]. В 2025 году ожидается широкомасштабная интеграция технологий Big Data в отечественный IT-сектор. По прогнозу экспертов Ассоциации больших данных (АБД), с 2021 по 2024 год объем российского рынка Big Data увеличится на 90 %, достигнув 319 млрд рублей против 170 млрд рублей в 2021 году [3]. Это свидетельствует о стремительном росте спроса на аналитические решения, машинное обучение и интеллектуальные системы обработки информации, которые становятся неотъемлемой частью цифровой трансформации предприятий.

Технологии больших данных базируются на ряде ключевых принципов — масштабируемость, скорость обработки, разнообразие источников информации и ценность извлекаемых знаний. Они позволяют работать с разнородными и неструктурированными данными, интегрируя информацию из множества источников, включая социальные сети, CRM-системы и облачные хранилища. Использование алгоритмов Big Data предоставляет компаниям широкие аналитические возможности. В частности, технологии машинного обучения и предиктивной аналитики позволяют формировать персонализированные предложения для клиентов, выявлять скрытые закономерности в поведении пользователей и прогнозировать потенциальные риски. В финансовом секторе анализ больших данных способствует обнаружению мошеннических схем, а в промышленности — оптимизации производственных процессов и снижению затрат. На основе изложенного следует сделать вывод о том, что интеграция Big Data в российский IT-сегмент — это не просто тенденция, а необходимость, обусловленная ростом конкуренции, усложнением бизнес-процессов и потребностью в более точных и оперативных управленческих решениях.

По оценке автора настоящей статьи, развитие CRM-систем в 2025 году диктует необходимость внедрения передовых аналитических решений, направленных на повышение качества клиентского обслуживания, персонализацию взаимодействия и оптимизацию бизнес-процессов. Одной из ключевых технологий, способствующих достижению данных целей, являются алгоритмы больших данных, обеспечивающие моделирование, оп-

тимизацию и прогнозирование процессов управления клиентскими отношениями (рис. 2). По мнению И.В. Свиридовой, А.А. Бабенко и Д.В. Гончарова, современные CRM-системы должны не только фиксировать информацию о клиентах, но и динамически адаптироваться к изменениям потребностей рынка [4]. В результате анализа материалов данных авторов можно сделать вывод, что алгоритмы Big Data позволяют формировать интеллектуальные модели поведения пользователей, выявлять скрытые тренды и предсказывать дальнейшие предпочтения клиентов с высокой точностью.



Рис. 2. Возможности использования алгоритмов больших данных в CRM-системах

Итак, исходя из рис. 2 и результатов анализа материалов, автором отмечаются следующие возможности алгоритмов больших данных в CRM: моделирование (построение комплексных профилей клиентов на основе анализа их истории взаимодействий, покупательских привычек и внешних факторов); оптимизация (интеллектуальная сегментация клиентов, автоматизация маркетинговых стратегий, снижение операционных затрат за счет более точного распределения ресурсов); прогнозирование (анализ вероятности оттока клиентов, предсказание спроса на товары и услуги, прогнозирование поведения пользователей в ответ на маркетинговые инициативы). Как отмечает К.Н. Алексеев, алгоритмы Big Data могут находить применение в различных аспектах работы CRM, включая персонализацию обслуживания, управление лояльностью и предотвращение оттока клиентов [5]. В продолжение вышесказанного автором выделены следующие ключевые направления использования технологий больших данных, их возможности и потенциальный эффект, представленные в табл. 1.

На основе представленных в табл. 1 сведений, можно утверждать, что алгоритмы Big Data становятся неотъемлемым элементом современных CRM-систем, обеспечивая компаниям конкурентные преимущества и позволяя строить более эффективные стратегии управления клиентскими взаимоотношениями. В результате, применение алгоритмов больших данных в CRM-системах пред-

Направления использования и возможности алгоритмов больших данных в CRM-системах

№	Направление	Алгоритмы Big Data	Возможности алгоритмов Big Data	Эффект
1	Персонализация взаимодействия	Коллаборативная фильтрация, алгоритмы кластеризации (k-means, DBSCAN), нейронные сети (Deep Learning)	Анализ поведения клиентов, обработка данных из множества источников (соцсети, транзакции, обращения в поддержку)	Повышение удовлетворенности клиентов, рост конверсии и увеличение среднего чека
2	Прогнозирование оттока клиентов	Логистическая регрессия, деревья решений (Random Forest, XGBoost), нейронные сети (LSTM)	Обнаружение паттернов поведения, указывающих на снижение интереса к компании	Снижение оттока клиентов за счет превентивных мер, удержание до 30% потенциально уходящих пользователей
3	Автоматизация маркетинговых кампаний	Метод опорных векторов (SVM), кластеризация, алгоритмы машинного обучения	Оптимизация времени и каналов взаимодействия, построение динамических сегментов	Повышение эффективности рекламных кампаний, снижение затрат на привлечение клиентов
4	Оптимизация ценообразования	Регрессия, методы машинного обучения (Gradient Boosting, Decision Trees)	Анализ рыночных трендов, учет покупательской способности, конкурентных предложений	Гибкая ценовая политика, увеличение прибыли без снижения спроса
5	Управление лояльностью	K-средние, алгоритмы ассоциативных правил, Decision Trees	Персонализированные бонусные программы, анализ предпочтений	Увеличение числа повторных покупок, повышение вовлеченности клиентов
6	Интеллектуальная аналитика продаж	Алгоритмы регрессии, Random Forest, нейронные сети	Анализ факторов, влияющих на принятие решений клиентами	Улучшение стратегии продаж, повышение доли успешных сделок

ставляет собой не только технологическое обновление, но и стратегическое преимущество для организаций, стремящихся улучшить свои бизнес-процессы и повысить конкурентоспособность. Как отмечают В.А. Бакулина и И.А. Понкратенкова, использование таких алгоритмов позволяет значительно улучшить понимание поведения клиентов и адаптировать маркетинговые стратегии, что особенно актуально в условиях быстро меняющихся рынков и усиленной конкуренции [6]. Одним из ключевых аспектов применения Big Data в CRM-системах является возможность проведения углубленного анализа клиентских данных. Это позволяет компаниям не только сегментировать клиентов по различным характеристикам, но и предсказать их поведение в будущем. Применение методов, таких как кластеризация и анализ ассоциативных правил, дает возможность более точно настроить взаимодействие с клиентами, что способствует увеличению их удовлетворенности и лояльности. В результате, CRM-системы становятся более персонализированными и ориентированными на потребности каждого клиента, что в свою очередь положительно влияет на продажи и доходность.

По мнению Ю.В. Веселовой, алгоритмы больших данных также открывают возможности для прогнозирования оттока клиентов [7]. Используя методы машинного обучения, такие как регрессия или нейронные сети, организации могут заранее выявить группы клиентов с высоким риском ухода и разработать меры по их удержанию. Это позволяет значительно снизить затраты на привлечение новых клиентов, что является важным

фактором для устойчивости бизнеса. Помимо этого, как утверждают Е.В. Матузенко, О.А. Глазунова и А.А. Изварин, Big Data помогают повысить эффективность маркетинговых кампаний [8]. Алгоритмы анализа данных позволяют предсказывать, какие предложения или акции будут наиболее привлекательными для различных сегментов аудитории. Это позволяет точно настраивать коммуникацию и минимизировать затраты на рекламу, при этом достигая высокого уровня отклика и вовлеченности.

По мнению автора настоящей статьи, использование алгоритмов больших данных также способствует оптимизации ценообразования. Применяя алгоритмы прогнозирования и анализа, организации могут учитывать не только текущие рыночные тенденции, но и индивидуальные предпочтения клиентов. Такой подход позволяет гибко адаптировать цены, повышая их конкурентоспособность и одновременно поддерживая маржинальность. В итоге, использование алгоритмов больших данных в CRM-системах предоставляет компаниям множество конкурентных преимуществ. Это не только позволяет улучшить качество взаимодействия с клиентами, но и способствует повышению операционной эффективности и снижению затрат. В условиях динамично развивающихся рынков, где скорость принятия решений имеет критическое значение, интеграция Big Data в CRM-системы становится обязательной для компаний, стремящихся к долгосрочному успеху и устойчивому развитию.

### Заключение

Анализ применения алгоритмов больших данных в CRM-системах подтверждает их значимость и ключевую роль в современном бизнесе. По оценке различных авторов, алгоритмы Big Data предоставляют организациям уникальные возможности для трансформации традиционных процессов взаимодействия с клиентами, что способствует существенному улучшению показателей деятельности компаний. Использование таких методов, как прогнозирование, моделирование и оптимизация, позволяет не только более точно понимать потребности потребителей, но и эффективно адаптировать маркетинговые стратегии, минимизируя затраты и усиливая конкурентоспособность. Примером служит прогнозируемый рост рынка CRM-систем в России на 15 % в 2024 году, что, по данным TAdviser, приведет к увеличению объема до 32,4 млрд рублей.

Внедрение алгоритмов больших данных в CRM-системы оказывает существенное влияние на повышение точности прогнозов и улучшение качества обслуживания клиентов, что является критически важным в условиях усиливающейся конкуренции. Применение этих технологий может повысить эффективность маркетинга на 20–30 % в краткосрочной перспективе, что

подтверждается результатами ряда исследований. Эти технологии создают возможности для персонализации взаимодействий с клиентами и снижения рисков, связанных с их оттоком и неоптимальным ценообразованием. Применение методов анализа данных в реальном времени позволяет оперативно адаптировать бизнес-процессы к изменяющимся рыночным условиям, что способствует улучшению финансовых результатов и долгосрочной прибыльности организаций.

Вместе с тем, несмотря на очевидные преимущества, внедрение данных инновационных технологий в CRM-системы требует учета вопросов безопасности, защиты данных и возможных рисков, связанных с их обработкой. Следует подчеркнуть, что процесс интеграции Big Data является не только технологическим шагом, но и стратегическим решением, которое требует комплексного подхода, наличия соответствующих компетенций и готовности к постоянному совершенствованию. В заключение следует отметить, что применение алгоритмов больших данных в CRM-системах представляется не только необходимостью, но и ключевым условием поддержания конкурентоспособности и успешной деятельности организаций в условиях динамично меняющихся рыночных условий и развивающегося сегмента информационных технологий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Российский рынок CRM-систем. Электронный ресурс. Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/CRM?otr=СМИ,\\_теле-\\_и\\_радиовещание&rtype=otr](https://www.tadviser.ru/index.php/CRM?otr=СМИ,_теле-_и_радиовещание&rtype=otr) (дата обращения 17.02.2025 г.).
2. Медведев Д.А. Большие данные: причины появления и как их можно использовать // Наука и образование сегодня. 2019. №4 (39). С. 14–16.
3. Большие данные — большие риски: как бизнесу справиться с утечками. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.comnews.ru/content/235493/2024-10-01/2024-w40/1010/bolshie-dannye-bolshie-riski-kak-biznesu-spravlyatsya-utechkami#:~:text=По%20прогнозу%20экспертов%20Ассоциации%20больших,170%20до%20319%20млрд%20рублей.> (дата обращения 17.02.2025 г.).
4. Свиридова И.В., Бабенко А.А., Гончаров Д.В. Большие данные, их обработка и примеры их использования // Мировая наука. 2020. №11 (44). С. 129–132.
5. Алексеев К.Н. Организация CRM-аналитики с использованием технологии Data Mining // Финансовые рынки и банки. 2021. №4. С. 4–9.
6. Веселова Ю.В. CRM-системы как средство реализации маркетинга взаимоотношений с клиентами // The Scientific Heritage. 2022. №84-5. С. 8–10.
7. Бакулина Е.В., Понкратенкова И.А. Анализ использования технологии «Большие данные» в экономике и аудите // Экономика и Индустрия 5.0 в условиях новой реальности (ИНПРОМ-2022): сборник трудов всероссийской научно-практической конференции с зарубежным участием. Санкт-Петербург. 2022. С. 136–140.
8. Матузенко Е.В., Глазунова О.А., Изварин А.А. CRM-системы как ключевой инструмент повышения эффективности деятельности интернет-торговли // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2021. № 4(89). С. 236–249.

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЗАЦИИ ОПТОВОЛОКОННЫХ СИСТЕМ

**Чайка Максим Олегович**

Аспирант, Воронежский государственный  
лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова  
glaros-m@yandex.ru

## OPTIMIZATION OF APPROACHES TO AUTOMATION OF FIBER-OPTIC SYSTEMS

**M. Chaika**

*Summary.* At the present stage, the optimization of fiber-optic systems is very relevant in various industries. This relevance is due to the general properties of optical fiber and its technical characteristics. The paper considers the possibility of optimizing the approach to automation of fiber-optic systems through the use of artificial intelligence technologies. Artificial intelligence in the management of fiber-optic systems, through appropriate algorithms for learning neural systems and real-time analytics, makes it possible to optimize data storage, retrieval and processing, which ultimately expands decision-making capabilities. Thus, the integration between optical fiber and artificial intelligence makes it possible to create a more reliable infrastructure for modern companies using fiber-optic systems. As for data processing issues, systems automated on the basis of artificial intelligence can quickly analyze large datasets, minimizing operating costs. However, in order to realize the full potential of fiber-optic systems, automation must be implemented as a single integrated system, rather than as disparate solutions coordinating various parts of the industrial process. Based on this, in modern conditions of management of automated systems, the development of an optimal approach using artificial intelligence technologies should be of paramount importance.

*Keywords:* automation; fiber-optic systems; optimization; artificial intelligence; neural networks; industrial automation; ionizing radiation.

*Аннотация.* На современном этапе вопросы оптимизации оптоволоконных систем являются весьма актуальными в различных отраслях промышленности. Такая актуальность обусловлена общими свойствами оптического волокна и его техническими характеристиками.

В работе рассматривается возможность оптимизации подхода к автоматизации оптоволоконных систем за счет использования технологий искусственного интеллекта. Искусственный интеллект в управлении оптоволоконными системами за счет соответствующих алгоритмов обучения нейронных систем и аналитики в режиме реального позволяет оптимизировать хранение, поиск и обработку данных, что в конечном итоге расширяет возможности принятия решений. Таким образом, интеграция между оптическим волокном и искусственным интеллектом позволяет создавать более надежную инфраструктуру для современных компаний, использующих оптоволоконные системы. Что касается вопросов обработки данных, то системы, автоматизация которых осуществлялась на основе искусственного интеллекта, могут быстро анализировать большие наборы данных, позволяя минимизировать эксплуатационные расходы.

Однако, для реализации всего потенциала оптоволоконных систем автоматизация должна осуществляться как единая целостная система, а не как разрозненные решения, координирующие различные части промышленного процесса. Исходя из этого в современных условиях управления автоматизированными системами первостепенное значение должно отводиться выработке оптимального подхода с использованием технологий искусственного интеллекта.

*Ключевые слова:* автоматизация; оптоволоконные системы; оптимизация; искусственный интеллект; нейронные сети; промышленная автоматизация; ионизирующее излучение.

**Н**а современном этапе оптоволоконные системы, используемые в различных отраслях, исходя из их технических характеристик обладают явными преимуществами по сравнению с другими системами. Вместе с тем, для эффективного управления такими системами недостаточно лишь преимущества их технических характеристик. Интеллектуализация и автоматизация всех сфер общественной жизни диктует необходимость совершенствования процессов управления такими системами, в том числе за счет перевода функций оптоволоконных систем с ручных на автоматизированные.

Обусловлено это тем, что традиционные оптоволоконные системы, несмотря на их технические преимущества, основаны на ручных процессах эксплуатации и обслуживания, что приводит к неэффективности их

работы и росту эксплуатационных расходов, возникающих по причине человеческого фактора. Автоматизация в эксплуатации и обслуживании оптоволоконных систем значительно снижает вмешательство человека, сводя к минимуму риск ошибок.

Так, после автоматизации, в оптоволоконных системах становится возможным контролировать состояние работы системы в режиме реального времени, проводить диагностику и выполнять отдельные ремонтные работы в автономном режиме. Это не только повышает надежность и стабильность системы, но и снижает эксплуатационные расходы. Оптоволоконные технологии являются основой автоматизации в индустрии 4.0. Они способствуют сверхбыстрому обмену данными, позволяя подключать отдельные сегменты технологических процессов, анализировать и рассчитывать данные [7, 8].

Вместе с тем, прежде чем рассматривать наиболее оптимальные подходы к автоматизации оптоволоконных систем в современных условиях, необходимо акцентировать внимание на том, что выбор подхода к автоматизации будет зависеть от цели и назначения оптоволоконной системы и специфики ее работы. Так, например, в тех системах, которые связаны с воздействием ионизирующего излучения, при автоматизации необходимо учитывать специфику влияния ионизирующего излучения на оптическое волокно. Это связано с тем, что ионизирующее излучение, влияя на оптическое волокно, может приводить к различным эффектам, в том числе эффектам, влияющим на эффективное функционирование системы, приводя к сбоям в ее работе. Возникновение значительной потери при передаче по оптическому волокну может произойти из-за накопления повреждений, вызванных ионизирующим излучением. Кроме того, может возникать переходная радиационная реакция, при которой свет генерируется в самом оптическом волокне во время воздействия ионизирующего излучения.

Накопление повреждений и переходная радиационная реакции свойственны системам, используемым в медицинских целях [6, 9, 10]. Так, оптическое волокно, подвергаясь ионизирующему излучению во время проведения соответствующих клинических процедур, может как накапливать повреждения, так и давать ощутимый радиационный отклик, влияющий на возможность восстановления оптического волокна. В связи с этим в области управления техническими системами, основанными на оптическом волокне, в медицине особое внимание отводится проблематике выбора не только наиболее подходящих с точки зрения радиационной устойчивости оптических волокон, но и количественной оценки их ионизирующего излучения в зависимости от целого ряда параметров, среди которых: скорость дозы облучения; размер поля облучения при различных энергиях, используемых в лучевой терапии. Выбор наиболее оптимального подхода к автоматизации таких систем осуществляется с учетом вышеназванных факторов [1].

Оптоволоконные системы, применяемые в промышленности, обеспечивают надежную и высокоскоростную передачу данных. Автоматизация таких систем предполагает не только понимание основных компонентов системы и их функциональности, но и специфику работы системы в зависимости ее назначения в промышленности. Кроме того, существует некоторая проблема интеграции новых компонентов систем в процессе автоматизации в уже функционирующие системы. Так, например, в рамках интеграции с различными устаревшими системами могут быть нестыковки с протоколами связи. В указанном случае решения по автоматизации должны учитывать развертывание современных интерфейсов, способных обеспечивать взаимодействие между протоколами передачи данных. При этом обеспечение со-

вместимости и бесперебойного потока данных требует тщательного планирования и внедрения адаптируемых решений. Таким образом, успешная автоматизация оптоволоконных систем в промышленности зависит от глубокого понимания компонентов и методов их работы. Эффективная интеграция значительно повышает общую эффективность, надежность и скорость работы оптоволоконных систем [3, 6].

Как уже было отмечено ранее, наиболее оптимальные подходы к автоматизации оптоволоконных систем в современных условиях должны быть ориентированы на цели назначения оптоволоконной системы, а также специфику ее работы. Однако, учитывая современные направления развития в области автоматизации, такие подходы не должны не учитывать интеллектуализацию оптоволоконных систем. Обусловлено это тем, что алгоритмы искусственного интеллекта за счет возможности постоянного обучения нейронных сетей могут прогнозировать сбои систем, оптимизировать маршрутизацию данных, что позволяет более эффективно управлять пропускной способностью оптоволоконных систем. С технической точки зрения использование в процессе автоматизации технологий искусственного интеллекта позволяет увеличить производительность сети, более точно прогнозировать поведение пользователей, а также учитывать потенциальные проблемы в процессе эксплуатации [2, 4].

Исходя из вышесказанного, можно выделить четыре наиболее оптимальных направления автоматизации оптоволоконной сети с использованием технологий искусственного интеллекта:

- оптимизация сети;
- упреждающее обслуживание;
- совершенствование безопасности работы системы;
- автоматизация конфигурации сети.

Использование технологий искусственного интеллекта для оптимизации параметров работы оптоволоконной системы в процессе ее автоматизации направлено на регулирование и распределение пропускной способности системы через оптические волокна с учетом параметров ее работы в зависимости от времени пиковых нагрузок. В указанном случае за счет автоматизации достигается наиболее эффективная производительность работы оптоволоконной системы в периоды пиков ее использования [10].

Автоматизация в части упреждающего обслуживания, основанного на технологиях искусственного интеллекта, позволяет своевременно (до возникновения аварийных или иных нештатных ситуаций) получать информацию о потребности в проведении ремонтных работ и техническом обслуживании, сокращая возник-

новение ситуаций, связанных с простоем в работе систем. Такой подход достигается за счет анализа данных датчиков посредством моделей машинного обучения. Для оптоволоконных систем, на наш взгляд, это является основным направлением автоматизации, поскольку сложность диагностики и ремонта традиционных оптоволоконных систем может привести к дорогостоящим простоям в работе систем [5].

Так, при повреждениях в оптоволоконных системах диагностика и устранение проблемы могут быть сложными задачами, если нет возможности надлежащим образом контролировать параметры работы системы. Например, если нарушение работоспособности оптоволоконной системы связано с разрывами в волокне, даже микроскопическими, такие разрывы могут вызвать достаточно серьезные проблемы в работоспособности системы. Технологии искусственного интеллекта позволяют определить точное место повреждений системы.

Совершенствование безопасности работы системы направлено на своевременное обнаружение аномалий и потенциальных угроз работоспособности оптоволоконной сети. Что касается автоматизации за счет конфигурации сети с использованием искусственного интеллекта, то здесь стоит отметить, что искусственный интеллект позволяет автоматизировать конфигурацию сети, сокращая время и усилия, необходимые для управления, обеспечивая тем самым оптимальную производительность в различных условиях.

Важно отметить и тот факт, что автоматизация оптоволоконных систем за счет технологий искусственного

интеллекта повышает производительность таких систем и центров обработки данных. Технология оптического волокна обеспечивает высокоскоростную передачу данных с уменьшенной задержкой, позволяя беспрепятственно передавать большие объемы информации, повышая общую эффективность системы.

Подводя итог, необходимо отметить, что искусственный интеллект в управлении оптоволоконными системами за счет соответствующих алгоритмов обучения нейронных систем и аналитике в режиме реального времени позволяет оптимизировать хранение, поиск и обработку данных, что в конечном итоге расширяет возможности принятия решений. Таким образом, интеграция между оптическим волокном и искусственным интеллектом позволяет создавать более надежную инфраструктуру для современных компаний, использующих оптоволоконные системы. Что касается вопросов обработки данных, то системы, автоматизация которых осуществлялась на основе искусственного интеллекта, могут быстро анализировать большие наборы данных, позволяя минимизировать эксплуатационные расходы.

Однако, для реализации всего потенциала оптоволоконных систем автоматизация должна осуществляться как единая целостная система, а не как разрозненные решения, координирующие различные части промышленного процесса. Исходя из этого в современных условиях управления автоматизированными системами первостепенное значение должно отводиться выработке оптимального подхода с использованием технологий искусственного интеллекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Байрамова Н., Бердиева А., Аллаберенова О., Ильмырадова А. Технология оптоволоконной связи: инновации и перспективы развития // Символ науки. 2024. №11-1-1. С. 40–43.
2. Бутченко Е.Ю., Казимов Д.М. Искусственный интеллект и искусственные нейронные сети, метод глубокого обучения нейросетей искусственного интеллекта // Научные достижения в XXI веке: Модернизация, инновации, прогресс. — Анапа: ООО «Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов» в ЮФО, 2023. — С. 49–53.
3. Грамматин А.П., Романова Г.Э., Балащенко О.Н. Расчет и автоматизация проектирования оптических систем. Учебное пособие. — СПб: НИУ ИТМО, 2013 — 128 с.
4. Мамедов Э. Изучения возможностей применения искусственного интеллекта и машинного обучения для оптимизации параметров ВОЛС // Символ науки. 2024. №9-1-2. С.54–56.
5. Мауленов К.С., Жарлыкасов Б.Ж. Оптоволоконные сети: технологии и стандарты, преимущества и недостатки // Экономика и социум. 2015. №2-5 (15). С. 471–475.
6. Письменный Р.А. Применение искусственного интеллекта в автоматизации производства // Символ науки. 2023. №7-2. С. 15–17.
7. Салохидинов Д.А., Маматкулов Т.Ч., Эсонов Х., Карабаев И. Использование искусственного интеллекта в промышленной автоматизации // Экономика и социум. 2024. №6-2 (121). С. 1358–1363.
8. Соломинский А.В., Железин В.А., Миргородский А.Д., Краснобаев С.В., Колотилина Н.М. Внедрение искусственного интеллекта в средства автоматизации // Вестник науки и образования. 2023. №8 (139). С.17–21.
9. Beddar, A.S., & Higgins, P.D. (1989). Ionizing radiation response effects on optical fibers in radiation therapy dosimetry applications. Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering, 992, 170–175.
10. Ghosh S., Das S., Paul M.C., Dasgupta K., Bohra D., Chaudhary HS, et al. Evaluation of the performance of high phosphorous with germanium codoped multimode optical fiber for use as a radiation sensor at low dose rates. Appl. Opt. 2011;50(25):E80–E85

© Чайка Максим Олегович (glaros-m@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛАВУЧИХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

## APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE DESIGN AND OPERATION OF FLOATING SOLAR POWER STATIONS

**P. Shurkalov**  
**A. Doroshin**  
**N. Ivanov**  
**D. Pereverzev**  
**V. Kabanov**

*Summary.* This article explores current approaches and prospects for the utilization of artificial intelligence (AI) in the field of solar power generation, specifically focusing on floating solar power stations (FSPS). An analytical review is conducted, based on scientific articles, documents, and legislative acts, covering key technological and operational aspects of the stations, laying the foundation for understanding the necessity of AI integration. Methods and technologies aimed at enhancing efficiency and optimizing the operation of FSPS are examined. The results of AI application on the stations are presented, showcasing their practical value.

The authors contribute to the advancement of solar energy by providing a comprehensive overview of technological trends and practical solutions for using AI in FSPS. This article is relevant for both the scientific community, with interests in solar generation systems, and practitioners who can highlight contemporary trends and innovations. The content is presented in a simple and accessible language, making it engaging for a broad audience interested in achievements in the field of renewable energy and AI.

*Keywords:* artificial intelligence (AI), machine learning, floating solar power stations (FSPS), solar power stations (SPS), design of floating solar power stations (DFSPS).

**Шуркалов Петр Сергеевич**

к.т.н., Национальный Исследовательский Институт  
Московский Энергетический Институт  
ShurkalovPS@mpei.ru

**Дорошин Александр Николаевич**

к.т.н., Национальный Исследовательский Институт  
Московский Энергетический Институт  
DoroshinAN@mpei.ru

**Иванов Никита Александрович**

Аспирант, Национальный Исследовательский  
Институт Московский Энергетический Институт  
nikitaivanov838@gmail.com

**Переверзев Данила Вадимович**

Аспирант, Национальный Исследовательский  
Институт Московский Энергетический Институт  
danurpwf@gmail.com

**Кабанов Валерий Алексеевич**

Аспирант, Национальный Исследовательский  
Институт Московский Энергетический Институт  
kabanov.valerij2011@yandex.ru

*Аннотация.* Данная статья освещает актуальные подходы и перспективы использования искусственного интеллекта (ИИ) в области солнечной генерации, а именно на плавучих солнечных электростанциях (ПСЭС).

Проведен аналитический обзор, основанный на научных статьях, документах и законодательных актах, основных технологических и эксплуатационных аспектах станций, создавая фундамент для понимания необходимости внедрения ИИ. Рассмотрены методы и технологии, направленные на повышение эффективности и оптимизации работы ПСЭС. Представлены результаты применения ИИ на станциях, демонстрируя их практическую ценность. Авторы статьи вносят свой вклад в развитие солнечной энергетики, представляя комплексный обзор технологических трендов и практических решений использования ИИ для ПСЭС. Данная статья является актуальной, как для научного сообщества, интересы которого направлены в области применения систем солнечной генерации, так и для практиков, которые могут подчеркнуть для себя современные тенденции и инновации. Содержание статьи представлено простым и доступным языком, что делает ее интересной для широкой аудитории, интересующейся достижениями в области возобновляемой энергетики и ИИ.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект (ИИ), машинное обучение, плавучие солнечные электростанции, СФЭС, СЭС, ПСЭС.

## Введение

**В** густонаселенных районах земельные ресурсы очень дороги, и их использование для установки солнечных фотоэлектрических станций (СФЭС) делает проекты солнечных электростанций экономически

неэффективными. Одним из выходов из этой ситуации является установка СФЭС на водной поверхности водоемов.

Несмотря на значительный прогресс в исследованиях в области СФЭС, плавучие СФЭС по-прежнему требуют инженерного и научного анализа. Например, до сих

пор отсутствуют надежные математические модели для оценки эффективности плавучих СФЭС в конкретных метеорологических и динамических условиях, отличающихся от условий на суше.

В рамках решения данных вызовов, в последнее время привлекается внимание к применению искусственного интеллекта (ИИ) в контексте проектирования и эксплуатации плавучих солнечных электростанций. Использование методов машинного обучения и алгоритмов ИИ может значительно улучшить эффективность, прогнозируемость и управление плавучими СФЭС.

### 1. Общие положения

Термин «плавучие СФЭС» относится к любому типу фотоэлектрических систем, устанавливаемых в водоемах, таких как озера, водохранилища, плотины гидроэлектростанций, шахтные пруды, промышленные и ирригационные пруды, водоемы для очистки воды и прибрежные лагуны. Они имеют ряд преимуществ перед наземными СФЭС, таких как использование существующей инфраструктуры передачи электроэнергии (например, гидроэлектростанций (ГЭС)), близость к потребителям электроэнергии, увеличение выработки энергии за счет охлаждающего эффекта воды и снижение выбросов пыли. Полный масштаб влияния этих преимуществ на эффективность СФЭС еще не проверен для крупных электростанций в различных географических регионах, но во многих случаях преимущества могут перевесить возросшие капитальные затраты. [2]

Особый интерес представляет возможность добавления плавучих мощностей СФЭС к существующим гидроэлектростанциям, особенно в случае крупных ГЭС, которые могут работать в гибком режиме. Солнечная

генерация может быть использована для увеличения выработки энергии на таких станциях и поможет справиться с периодами низкой водной обеспеченности позволяя гидроэлектростанциям работать в режиме «пиковой», а не «базовой нагрузки». Это преимущество имеет место и в обратном направлении. Гидроэлектростанции могут работать в режиме «следования за нагрузкой» для сглаживания колебаний мощности СФЭС.

В большинстве случаев фотоэлектрические панели (ФЭП) обычно монтируются на плавучей конструкции на основе понтонов. Плавучие платформы ставятся на якорь и швартуются в определенном месте. Однако существуют плавучие СФЭС и других конструкций, к примеру, так называемая «плавучая СФЭС над водой», которая предусматривает собой установку ФЭП на сваях над мелководными водоемами. Схема конфигурации плавучей СФЭС, подключенной к ЭЭС, показан на рисунке 1.

Преимущества плавучих СЭС над наземными:

- *Экономия земельных ресурсов.* Плавучие СФЭС используют водные поверхности, которые не служат каким-либо экономическим, экологическим или рекреационным целям.
- *Уменьшенное испарение воды.* Испарение — значительная потеря водных ресурсов во всем мире, иногда достигающая 40 % [4, 5]. Покрытие части поверхности водоема плавающими СФЭС является эффективным способом снижения испарения из резервуаров с питьевой водой и ирригационных прудов и выработки чистой электроэнергии.
- *Интеграция в существующую электроэнергетическую инфраструктуру,* особенно возле гидроэлектростанций, может минимизировать длину высоковольтных линий электропередачи

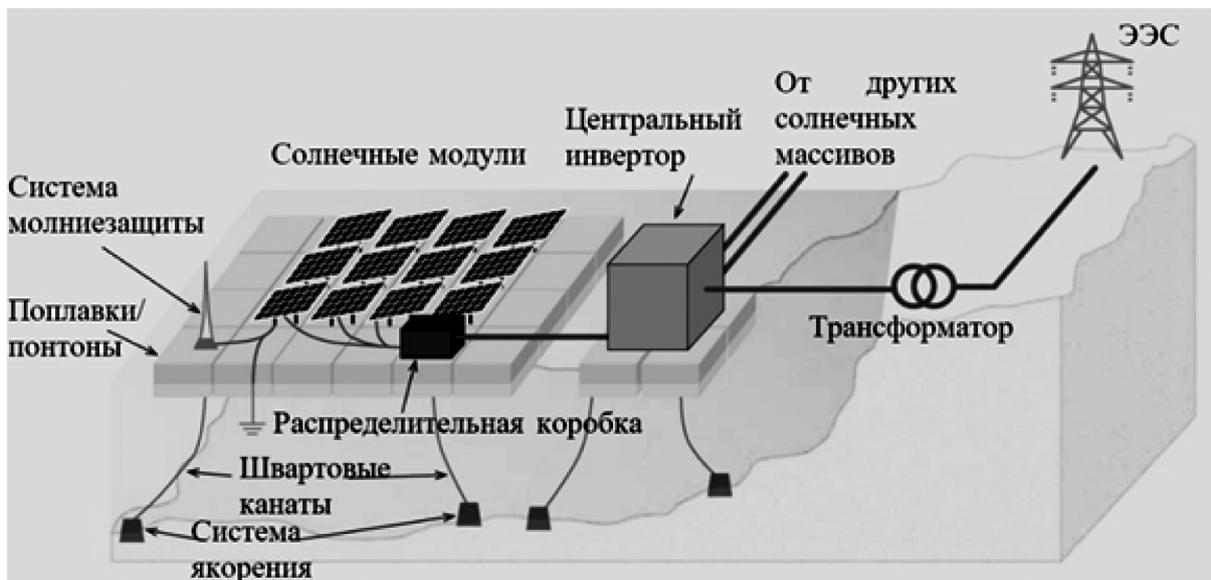


Рис. 1. Схема конфигурации ПСЭС [3]

— Упрощенная установка и развертывание. Плавающие СФЭС устанавливаются в водоемах и не требуют масштабной подготовки площадки, как наземные СФЭС

## 2. Применение ИИ в оптимизации работы ПСЭС

Исследования в области плавающих солнечных электростанций (ПСЭС) активно направлены на разработку ключевых компонентов инфраструктуры, таких как плавающие платформы, системы якорения и методы технического обслуживания [6]. Происходит работа над преодолением ограничений в установленной мощности и обеспечением устойчивости систем к воздействию водных условий. Примеры текущих исследований включают разработку материалов, способных справляться с агрессивной водной средой, и оптимизацию транспортировки через использование мобильного производства компонентов [7].

С одной стороны, исследования сосредотачиваются на увеличении производственных возможностей плавающих солнечных электростанций, а с другой стороны — на техническом обслуживании в водной среде с учетом специфики эксплуатации на воде.

Дополнительным аспектом в развитии плавающих солнечных электростанций является исследование и внедрение систем управления, использующих технологии ИИ. Алгоритмы машинного обучения и нейронные сети могут эффективно оптимизировать работу электростанции, адаптируя ее к изменяющимся условиям освещенности, изменениям в потреблении энергии или даже предсказывая и оптимизируя процессы технического обслуживания.

ИИ может давать интегрированное предложение на основе нечеткости, прототип которого учитывает экологические, особенно климатические условия, такие как различия в освещенности, ясности, температуре и влаж-

ности исследуемых регионов, чтобы дать иерархию их пригодности для строительства плавающей солнечной электростанции. Результаты были подтверждены путем внедрения дополнительных многокритериальных методов принятия решений (MCDM) [8].

Оптимизация расположения и ориентации панелей солнечных батарей является одним из ключевых аспектов работы плавающих солнечных электростанций. Это связано с тем, что правильное расположение и ориентация панелей позволяют максимально использовать солнечную энергию и минимизировать потери. Пример такой станции с использованием ИИ представлен на рисунке 2.

Была предложена система на основе ИИ, основанная на алгоритме оптимизации Grasshopper, позволяющая одновременно максимизировать выходную мощность гибридной гидроэлектростанции с ПСЭС, отношение объема накопленной воды к емкости резервуара и отношение подачи воды к спросу на воду. Результаты показали, что предложенная модель оптимизации может значительно улучшить синергетические преимущества взаимосвязи воды, продуктов питания и энергии, достигнув 13 %, 13,3 % и 15,1 % в хранении воды, производстве продуктов питания и выработке фотоэлектрической энергии на гибридных установках, соответственно. Оптимальные углы наклона плавающей фотоэлектрической установки будут варьироваться от  $-11,9^\circ$  (летом) до  $44,3^\circ$  (зимой) [11].

Автоматизированные системы технического обслуживания, поддерживаемые ИИ, включают в себя оптимизацию расписания обслуживания, прогнозирование затрат и определение оптимальных методов поддержания оборудования в рабочем состоянии. Это способствует сокращению времени простоя и обеспечивает бесперебойную работу станции.

В холодных регионах ИИ может сыграть роль в защите плавающих солнечных электростанций от обледенения



Рис. 2. Плавающая СФЭС с системой слежения за Солнцем, расположенная в водохранилище Хапчон, Республика Корея [9, 10]

водоемов. Вот несколько способов, как это может быть достигнуто:

- Прогноз погоды и оповещение: ИИ может анализировать данные о погоде, включая температуру и влажность воздуха, чтобы предсказать вероятность образования льда на воде. Он может также использовать данные о прогнозе для определения времени, когда вероятность обледенения будет наибольшей.
- Тепловые системы: Использование тепловых систем, в том числе электрических или подогреваемых элементов, может предотвращать обледенение. ИИ может управлять этими системами, включая их работу при необходимости в соответствии с прогнозами погоды. Это позволит поддерживать оптимальные условия работы солнечных панелей.

ИИ может автоматически обрабатывать новые данные о производстве энергии, вносить коррективы в модели, идентифицировать изменения в условиях эксплуатации и адаптировать свои стратегии оптимизации.

Эти аспекты ИИ в управлении плавучими солнечными электростанциями не только повышают эффективность их работы, но и делают их более адаптивными к переменным условиям окружающей среды

### 3. Примеры применения ИИ на ПЭС

Международная команда ученых применила ИИ для повышения эффективности работы электростанций, преобразующих солнечную энергию в электрическую. Исследование проводилось на примере реальной электростанции, где были внедрены новые методы [12].

При разработке модели прогнозирования были использованы три метода ИИ на основе данных: адаптивная нейро-нечеткая система вывода данных (ANFIS), методология поверхности отклика (RSM) и искусственная нейронная сеть (ANN).

Результаты были получены на основе обработки трехлетних данных действующей солнечной фотоэлектрической станции мощностью 2 МВт в Кужалманнаме, штат Керала (Индия). Для определения наиболее точной прогнозной модели использовались статистические индексы, такие как коэффициент корреляции Пирсона (R), коэффициент детерминации ( $R^2$ ), среднеквадратическая ошибка (RMSE), эффективность Нэша-Сатклиффа (NSCE), средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE), эффективность Клинг-Гупты (KGE), диаграмма Тейлора и матрица корреляции. Сравнительные исследования трех методов прогнозирования показали, что адаптивная нейро-нечеткая система вывода была самой точной моделью прогнозирования коэффициента производительности [13].

Стартапы постоянно разрабатывают инновационные способы сделать новые технологии более доступными и эффективными. Вот некоторые из ведущих стартапов в области ИИ.

#### 3.1. Израильский стартап Xfloat

В середине 2022 года Израиль объявил о проекте по тестированию плавующего ИИ, который вырабатывает электроэнергию, отслеживая движение солнца. Система, разработанная израильским стартапом Xfloat, предназначена для перемещения и отслеживания солнца во время плавания по воде водохранилища.

Система Xfloat основана на возможностях машинного обучения. Компания создала интеллектуальную систему управления водоснабжением, которая контролирует подачу воды и насосы для точного наклона и отслеживания. Затем данные, собранные с датчиков, направляются в процесс машинного обучения на основе знаний, чтобы предсказать производительность фотоэлектрических систем и O&M (эксплуатацию и техническое обслуживание).



Рис. 3. Фотоэлектрические панели Xfloat [14]

Система Xfloat, показанная на рисунке 3, состоит из балластных танков, которые синхронно управляют вращением фотоэлектрических столов слежения. Система не использует моторы или гидравлику. Вместо использования передаточного механизма для наклона панелей используется гибкий гидростатический механизм позиционирования [14].

#### 3.2. Стартап Suncast

В настоящее время Suncast предлагает услуги общей мощностью 1312 МВт, распределенные на 12 фотоэлектрических электростанциях.

Проекты Suncast:

1. Сервис прогнозирования солнечной энергии.

Используя платформу SaaS, рассчитываются прогнозы выработки электроэнергии для солнечных электро-

станций в формате графиков. Высокая точность достигается с помощью уникальных моделей ИИ комбинируя данные прогнозирования, предоставляемые спутниками, с фактическими данными о производстве энергии, чтобы соответствовать нормам каждого рынка и максимизировать производительность электростанций [14].

## 2. Сервис прогнозирования загрязнения.

ИИ и машинное обучение применяется для прогнозирования уровня загрязнения фотоэлектрических парков, позволяя заказчикам оптимизировать количество и точные даты очистки фотоэлектрических панелей, максимизируя прибыльность парков, достигаемую системой, которая выполняет прогнозирование погоды, позволяя планировать уборку, достигая экономии затрат на уборку более чем на 50 % [15].

### Заключение

Применение искусственного интеллекта для плавучих солнечных электростанций является перспективным направлением исследований, обладающим большим по-

тенциалом для оптимизации работы системы. Эти технологии могут повысить эффективность электростанций, минимизировать потери энергии и обеспечить более точные прогнозы производства энергии. Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут привести к созданию более эффективных и устойчивых систем генерации электроэнергии с использованием технологий искусственного интеллекта.

Амбиции в области возобновляемых источников энергии в рамках определяемых на национальном уровне взносов не только недостаточны, но и не соответствуют обязательствам стран во внутренней политике, которые существуют вне рамок Парижского соглашения (национальные законы, политика, дорожные карты, планы, стратегии). В соответствии с планом IRENA по повышению температуры на 1,5°C и обязательством COP28 утроить производство возобновляемой энергии во всем мире, мощности по производству возобновляемой энергии только в странах G20 должны вырасти с менее чем 3 тераватт (ТВт) в 2022 году до 9,4 ТВт к 2030 году, что составляет 80 % от общемирового объема.

### ЛИТЕРАТУРА

1. IFC (International Finance Corporation). 2015. «Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants: A Project Developer's Guide». Working paper, International Finance Corporation, Washington, DC // URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22797>.
2. Lee, N.; Grunwald, U.; Rosenlieb, E.; Mirlletz, H.; Aznar, A.; Spencer, R.; Cox, S. Hybrid floating solar photovoltaics-hydropower systems: Benefits and global assessment of technical potential. *Renew. Energy* 2020, 162, 1415–1427.
3. Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS) at the National University of Singapore // URL: <https://www.seris.nus.edu.sg/>.
4. Helfer, F., C. Lemckert, and H. Zhang. 2012. «Impacts of Climate Change on Temperature and Evaporation from a Large Reservoir in Australia». *Journal of Hydrology* 475: 365–78.
5. Santafé, M.R., P.S.F. Gisbert, F.J.S. Romero, J.B.T. Soler, J.J.F. Gozávez, and C. M. F. Gisbert. 2014. «Implementation of a Photovoltaic Floating Cover for Irrigation Reservoirs». *Journal of Cleaner Production* 66: 568–70.
6. Choi Y.K. et al. A study on major design elements of tracking-type floating photovoltaic systems // *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*. — 2014. — Т. 3. — №. 1. — С. 70–74.
7. Lee N. et al. Hybrid floating solar photovoltaics-hydropower systems: Benefits and global assessment of technical potential // *Renewable Energy*. — 2020. — Т. 162. — С. 1415–1427.
8. Ghose D., Pradhan S., Shabbiruddin. Floating solar plants—Exploring a new dimension of energy generation: A case study // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. — 2021. — С. 1–31.
9. Rosa-Clot, M. and G.M. Tina. 2018. Integration of water-based PV systems. In *Submerged and Floating Photovoltaic Systems* (chapter 9). Academic Press.
10. Patil, S.S., M.M. Wagh, and N.N. Shinde. 2017. «A Review on Floating Solar Photovoltaic Power Plants». *International Journal of Scientific & Engineering Research* 8(6).
11. Zhou Y. et al. An advanced complementary scheme of floating photovoltaic and hydropower generation flourishing water-food-energy nexus synergies // *Applied Energy*. — 2020. — Т. 275. — С. 115389.
12. Кирпичникова, И. Искусственный интеллект поможет улучшить работу солнечных электростанций. Южно-Уральский государственный университет // URL: <https://www.susu.ru/ru/news/2023/03/27/iskusstvennyy-intellekt-pomozhet-uluchshit-rabotu-solnechnyh-elektrostanciy> (дата обращения 14.02.2024)
13. Gopi A. et al. Weather impact on solar farm performance: a comparative analysis of machine learning techniques // *Sustainability*. — 2022. — Т. 15. — №. 1. — С. 439.
14. S. Shemer, M. Kaplan-Zantopp (2022, 22 мая) Israel Tests AI-Powered Floating Solar Panels To Generate Clean Energy // URL: <https://nocamels.com/2022/05/xfloat-mekorot-solar-panels-energy-floating/> (дата обращения 14.02.2024)
15. Сайт компании Suncast // URL: <https://www.suncast.cl/?lang=en> (дата обращения 14.02.2024)

© Шуркалов Петр Сергеевич (ShurkalovPS@mpei.ru); Дорошин Александр Николаевич (DoroshinAN@mpei.ru); Иванов Никита Александрович (nikitaivanov838@gmail.com); Переверзев Данила Вадимович (danupwf@gmail.com); Кабанов Валерий Алексеевич (kabanov.valerij2011@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИБРИНА У БОЛЬНЫХ С ТЯЖЕЛЫМИ ФОРМАМИ ОСТРОГО ПАНКРЕАТИТА

## DYNAMICS OF THE MAIN PARAMETERS OF FIBRIN IN PATIENTS WITH SEVERE FORMS OF ACUTE PANCREATITIS

**N. Vasil'tsova**  
**E. Namokonov**  
**A. Yashnov**

**Summary.** In 2024, 167,208 cases of acute pancreatitis were registered in the Russian Federation. In-hospital mortality for this disease is 2.99 %, while postoperative mortality reaches 19.3 %. Currently, various laboratory and instrumental diagnostic methods, as well as various assessment scales, are widely used to diagnose and assess the severity of patients with destructive pancreatitis and multiple organ failure. In this regard, the identification of laboratory biomarkers capable of recognizing destructive changes in pancreatic tissues in a short time (within the first 24 hours) is becoming an important task in the field of surgery. In this paper, the parameter of fibrin dynamics in patients with moderate and severe severity was studied. The conducted prospective study included the results of examination of 23 patients with severe and moderate acute pancreatitis, treated at the ChUZ «Clinical Hospital «RZhD-Medicine», Chita» from 2022 to 2024, aged 16 to 85 years. On the first day, the patient undergoes a clinical blood test, fibrin indicators are assessed by the «T2-T Thrombodynamics Analyzer (SL AT T2-T)» system. Statistical processing was carried out using the Statistica 21 software package. The study found a progressive increase in the fibrin dynamics parameter. Thus, with readings of  $Vst \geq 48.70 \pm 3.51 \mu\text{m}/\text{min}$  ( $p \leq 0.05$ ), thrombosis and the development of necrotic changes in tissues are predicted; in patients with a severe degree, the average steady-state clot velocity is  $55.46 \pm 7.7 \mu\text{m}/\text{min}$ , and in patients with an average degree  $41.85 \pm 5.6 \mu\text{m}/\text{min}$ , which is 1.3 times less than in patients with a severe form ( $p \leq 0.05$ ).

**Keywords:** acute pancreatitis, coagulogram, fibrinogen, pancreatic necrosis, diagnostics.

**Васильцова Наталья Александровна**

ассистент, ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия»  
nvas95@mail.ru

**Намоконов Евгений Владимирович**

д. м. н., профессор, ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия»

**Яшнов Алексей Александрович**

д. м. н. доцент, ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия»

**Аннотация.** В 2024 году в Российской Федерации зарегистрировано 167208 случаев острого панкреатита. Госпитальная летальность по этому заболеванию составляет 2,99 %, тогда как послеоперационная смертность достигает 19,3 %. В настоящее время для диагностики и оценки тяжести состояния пациентов с деструктивным панкреатитом и полиорганной недостаточностью широко применяются разнообразные лабораторные и инструментальные методы диагностики, а также различные шкалы оценки. В связи с этим, выявление лабораторных биомаркеров, способных распознавать деструктивные изменения в тканях поджелудочной железы в короткие сроки (в течение первых 24 часов), становится важной задачей в области хирургии.

В данной работе изучен параметр динамики фибрина у больных с средней и тяжелой степенью тяжести. В проведенное проспективное исследование включены результаты обследования 23 пациентов с тяжелой и среднетяжелой течением острого панкреатита, находившихся на лечении в ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина», г. Чита» с 2022 по 2024 гг., в возрасте от 16 до 85 лет. В первые сутки больному выполняют клиническое исследование крови оценка показателей фибрина проводится системой «Анализатор тромбодинамики T2-T (СЛ АТ T2-T)». Статистическая обработка проводилась с использованием пакета программ Statistica 21. В исследовании установлено прогрессивное увеличение параметра динамики фибрина. Так при показателях  $Vst \geq 48,70 \pm 3,51 \text{ мкм}/\text{мин}$  ( $p \leq 0,05$ ), прогнозируют тромбоз и развитие некротических изменений в тканях, у пациентов с тяжелой степенью средний показатель стационарной скорости сгустка —  $55,46 \pm 7,7 \text{ мкм}/\text{мин}$ , а у пациентов с средней степенью  $41,85 \pm 5,6 \text{ мкм}/\text{мин}$ , что в 1,3 раза меньше относительно больных с тяжелой формой ( $p \leq 0,05$ ).

**Ключевые слова:** острый панкреатит, коагулограмма, фибриноген, панкреонекроз, диагностика.

**А**ктуальной проблемой в области срочной абдоминальной хирургии является острый панкреатит, который все чаще диагностируется и становится одним из лидеров среди острых хирургических заболеваний в различных регионах. [1] [3] [5]

Острый деструктивный панкреатит (ОДП) — это опасное состояние, требующее немедленной хирургической интервенции. Его особенность заключается в образовании очагов панкреонекроза в забрюшинной клетчатке,

что может привести к развитию гнойно-некротических осложнений, абдоминальному сепсису и множественной органной недостаточности. Исследователи из России отмечают высокую частоту возникновения гнойно-некротических осложнений у пациентов с деструктивными формами панкреатита, варьирующую от 24 % до 73 %. В представленных случаях наблюдается высокая летальность, колеблющаяся в пределах от 23,5 % до 70 %, и не намечается тенденции к снижению этого показателя. Для решения этой сложной проблемы необходимо не-

замедлительное внимание и применение научного подхода, направленного на улучшение методов диагностики и лечения, а также на уменьшение смертности среди пациентов, столкнувшихся с этим серьезным заболеванием [2]. Такие стандартные показатели коагулограммы, как активированное частичное тромбопластиновое время (АЧТВ), протромбиновое время (ПВ) и тромбиновое время, в большинстве случаев остаются в пределах нормы при наступлении тромбоза. Регистрация времени образования сгустка при определении клоттинговых тестов коагулограммы происходит на начальной фазе образования тромбина, когда образовалось всего лишь около 5 % от его общего количества [9]. Это означает, что 95 % генерируемого тромбина не измеряется при определении ПВ и АЧТВ. Относительно новым интегральным анализом оценки системы гемостаза является тест тромбодинамики. Проведенные исследования подтверждают, что этот тест информативен в отношении оценки риска развития тромбозов и кровотечений. Рутинные и специализированные параметры коагуляции помогают диагностировать изменения коагуляции, но могут не выявить пациентов с тромбозом. Тогда как интегральные тесты, в том числе ТГТ, являются потенциальными технологиями для диагностики, прогнозирования, профилактики и лечения наследственных и приобретенных коагулопатий [7]

Острый панкреатит — это асептическое воспаление, представляющее собой демаркационное явление, в основе которого происходит некроз ацинарных клеток поджелудочной железы. Ферментная агрессия приводит к распространяющемуся некрозу и дистрофии органа, затрагивая не только сами ткани поджелудочной железы, но и сопредельные структуры, а также отдаленные органы и системы, к которым может присоединяться вторичная инфекция. Исследования подтвердили, что в процессе панкреонекроза наблюдается тесная связь между интенсивностью воспалительного ответа и активацией механизмов коагуляции, указывая на сложные взаимодействия. Воспалительный процесс вызывает снижение активности естественных антикоагулянтов и нарушает функционирование системы фибринолиза, что, в свою очередь, предрасполагает к возникновению тромботических осложнений. [4,6]

В современных реалиях диагностики и оценки тяжести состояния пациентов с деструктивным панкреатитом, а также выраженности полиорганной недостаточности, наилучшие результаты достигаются благодаря разнообразным методам лабораторной и инструментальной диагностики, наряду с системами-шкалами. Однако в ряде клинических ситуаций, когда на фоне стойкого пареза кишечника и тяжелых органических нарушений, ультразвуковое исследование поджелудочной железы и мультиспиральная компьютерная томография оказываются неспособными обеспечить достоверные дан-

ные о наличии очагов некроза поджелудочной железы в течение первых 10–14 суток, эта область диагностики становится особенно сложной. В таких случаях, традиционные методы могут не раскрыть всей картины, что осложняет принятие жизненно важных решений. Необходимо стремиться к внедрению более совершенных подходов, чтобы обеспечить надежную диагностику и, как следствие, оптимальное лечение пациентам, находящимся в тяжелом состоянии. Иногда возможность выполнения тонкоигольной пункции-аспирации инфильтрата или жидкостного образования с использованием специальной тонкой атравматичной иглы Chiba под контролем ультразвука сомнительна из-за различных обстоятельств. [2]. В силу этого, настоятельной задачей хирургической практики становится поиск лабораторных биомаркеров, способных спрогнозировать тяжесть течения острого панкреатита на ранних стадиях, в течение первых 24 часов.

*Цель.* Изучить взаимосвязь параметра динамики фибрина и степени тяжести острого панкреатита.

#### Материалы и методы

В проспективное исследование включены результаты обследования 23 пациентов с тяжелым и среднетяжелым течением острого панкреатита, находившихся на лечении в ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина», г. Чита» с 2022 по 2024 гг., в возрасте от 16 до 85 лет. Критерии включения: признаки острого панкреатита, установленные на основании клинико-лабораторных данных, данных объективного осмотра, подтвержденные ультразвуковым исследованием органов брюшной полости и / или компьютерной томографией органов брюшной полости. Критерии исключения: другие виды острой патологии органов брюшной полости (острый холецистит, гепатит, колит) и все их хронические формы, а также тяжелая сердечно-сосудистая, дыхательная патология, сопровождающаяся тромботическими осложнениями.

В первые сутки больному выполняют клиническое исследование крови. Для исследования венозную кровь забирают в пробирку VACUTAINER, содержащую цитрат натрия, объемом 2,5 мл. После двукратного центрифугирования, оценка показателей фибрина проводится системой «Анализатор тромбодинамики T2-T (СЛ АТ T2-T)». Образец плазмы крови размещают в каналы специальной измерительной кюветы для определения основных показателей динамики образования / лизиса фибринового сгустка и тромбина одновременно с динамикой образования / лизиса фибринового сгустка в пространственно-временном контексте. После введения в кювету вставки-активатора, на которой распределены липиды и белок тканевого фактора, начинается процесс свертывания крови. Имитация места повреждения сосуда происходит за счет торца вставки-активатора с тканевым

Параметры динамики фибрина	Ед. измерения	Сокр.	Значение	Норма
Скорость роста сгустка	мкм/мин	V	49,9	
Задержка роста сгустка	мин	Tlag	1,1	0,6-1,3
Начальная скорость роста сгустка	мкм/мин	Vi	76,1	
Стационарная скорость роста сгустка	мкм/мин	Vst	49,9	31,0-34,0
Размер сгустка через 30 мин	мкм	CS	1816	
Плотность сгустка	усл. ед.	D	35982	
Время появления спонт. сгустков	мин	Tsp	27,2	30,0-

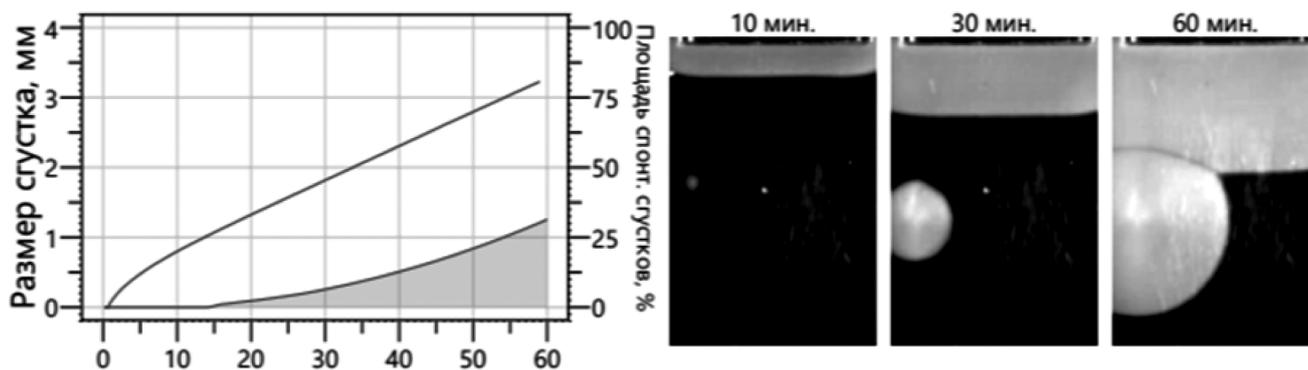


Рис. 1. Пример результата, полученного на «Анализаторе тромбодинамики Т2-Т (СЛ АТ Т2-Т)»

фактором. После взаимодействия плазмы с тканевым фактором начинает формироваться фибриновый сгусток. Процесс возникновения и увеличения размера фибринового сгустка от торца вставки-активатора до конца кюветы наблюдается с помощью цифровой фотокамеры, работающей в режиме последовательной фотосъемки при применении метода темного поля. После этого программа для анализа изображений рассчитывает численные параметры динамики роста сгустка, строя зависимость его размера от времени (Рисунок 1).

Статистическая обработка проводилась с использованием пакета программ Statistica 21.

### Результаты

В исследовании установлено прогрессивное увеличение параметра динамики фибрина. Так при показателях  $Vst \geq 48,70 \pm 3,51$  мкм/мин ( $p \leq 0,05$ ), прогнозируют тромбоз и развитие некротических изменений в тканях.

Данный параметр, начиная с первых суток заболевания, указывает на фазу распространения свертывания, что позволяет прогнозировать отрицательное течение острого панкреатита на фоне проводимой терапии, а именно возникновение инфицированного панкреонекроза и формирование абсцессов и кист ткани поджелудочной железы.

Фибриноген превращается в фибрин под воздействием тромбина, что является ключевым процессом свертывания крови. Регуляторное значение имеют

остальные реакции в этой системе. В результате действия плазменного звена формируется сеть из полимеризованных молекул фибрина, которая способна удерживать большое количество жидкости. Поэтому плазма в области повреждения сосуда меняет свое состояние на гелеобразное, образуя фибриновый сгусток. Этот сгусток предотвращает потерю крови и проникновение микроорганизмов, так как не пропускает жидкость.

В зависимости от степени тяжести показатель  $Vst$  распределился следующим образом: у пациентов с тяжелой степенью средний показатель стационарной скорости сгустка —  $55,46 \pm 7,7$  мкм/мин (Рисунок 2), а у пациентов с средней степенью  $41,85 \pm 5,6$  мкм/мин (Рисунок 3), что в 1,3 раза меньше относительно больных с тяжелой формой ( $p \leq 0,05$ ).

Исследование показателей фибрина у больных с острым панкреатитом позволяет прогнозировать возможность развития деструктивных форм (неблагоприятное течение) на стадии доклинических проявлений и объективных критериев и вносить необходимую коррекцию в лечение.

### Вывод

Для тяжелых форм острого панкреатита характерно повышение стационарной скорости сгустка до  $48,70 \pm 3,55$  мкм/мин.

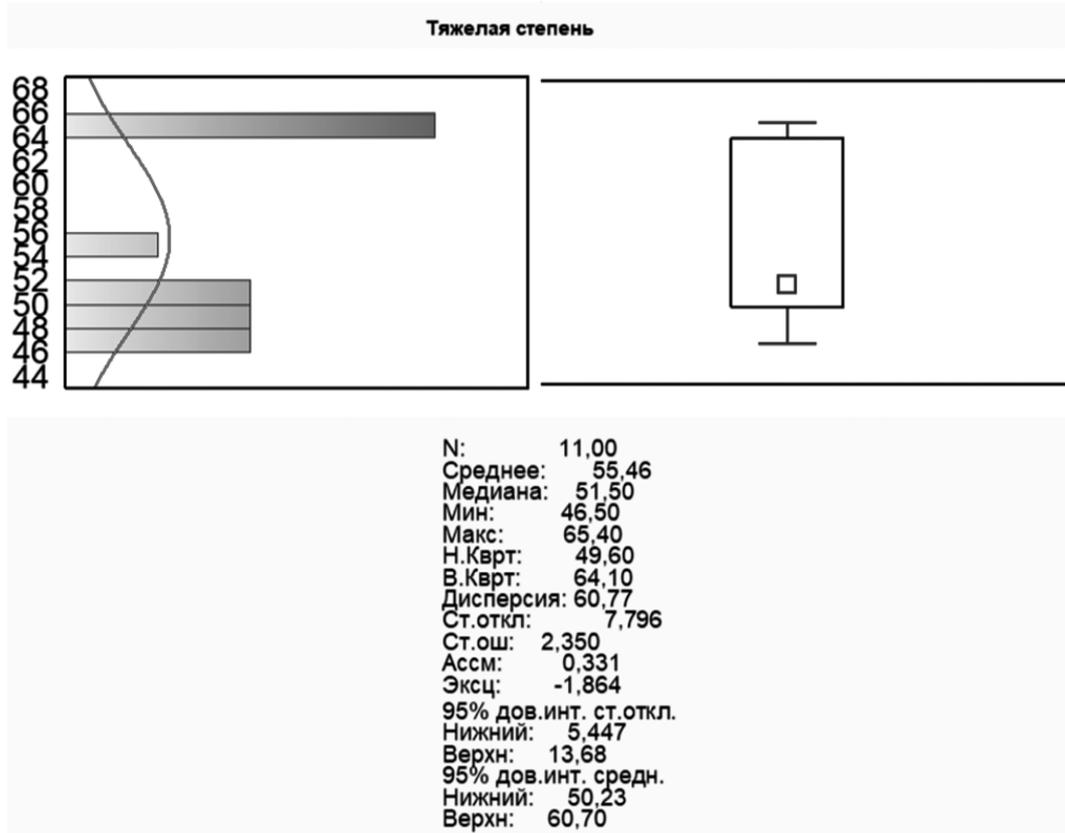


Рис. 2. Стационарная скорость сгустка у пациентов с тяжелой степенью острого панкреатита

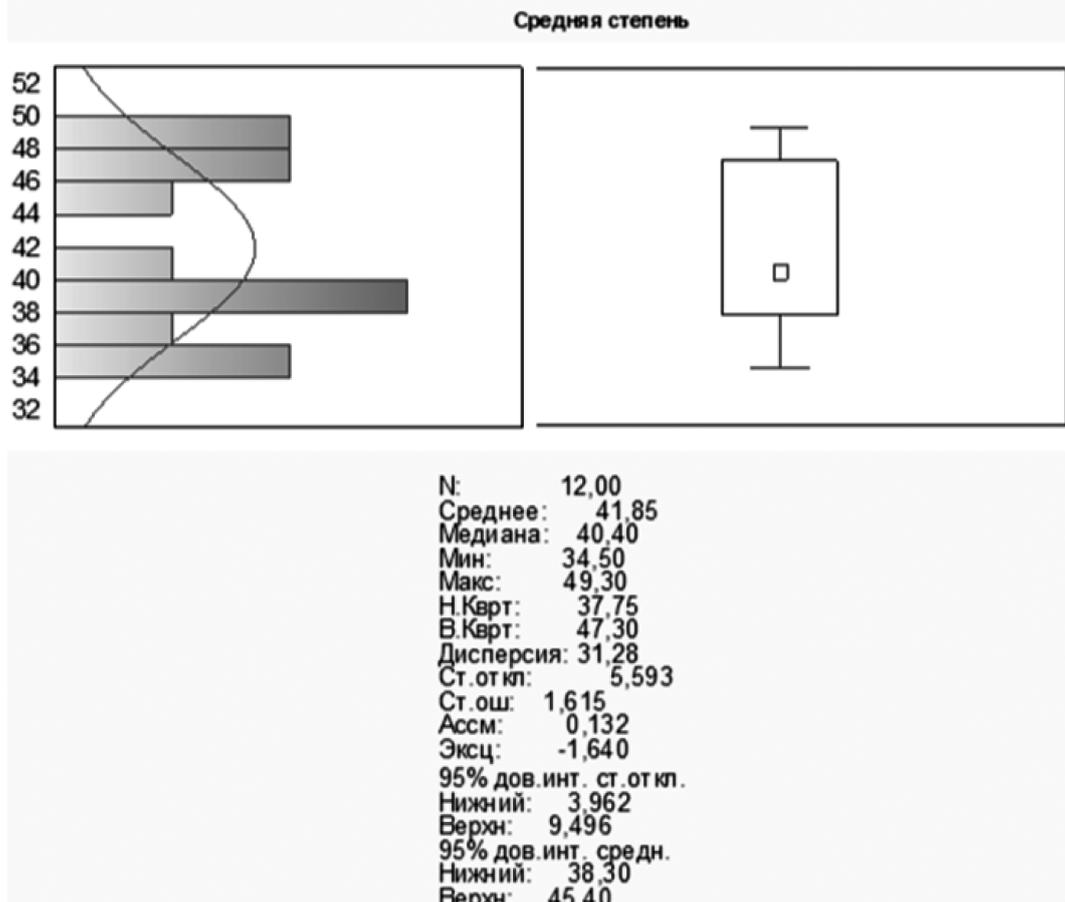


Рис. 3. Стационарная скорость сгустка у пациентов с тяжелой степенью острого панкреатита

ЛИТЕРАТУРА

1. Багненко С.Ф. Современные представления о тактике лечения острого панкреатита / С.Ф. Багненко, А.Д. Толстой, В.Р. Гольцов // Актуальные вопросы диагностики и хирургического лечения заболеваний органов брюшной полости: сб. статей. — СПб., 2005. — С.127–129
2. Истомин Н.П. Применение лечебно-диагностического алгоритма для определения хирургической тактики у больных с панкреонекрозом. / Н.П. Истомин, И.Н. Белов, М.С. Егоров и др. // Хирург. — 2010. — № 7. — С. 6–13.
3. Боженков Ю.Г. Практическая панкреатология: рук-во для врачей / Ю.Г. Боженков, А.Н. Щербюк, С.А. Шалин // Н. Новгород: изд-во НГМА — 2003. — 211 с.
4. Киселев В.В. Диагностика и лечение проявлений эндотелиальной дисфункции у пациентов с тяжелым острым панкреатитом в условиях отделения реанимации и интенсивной терапии / В.В. Киселёв, М.С. Жигалова, С.С. Петриков и др. / Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care. 2023 — №12(4) — С. 538–545. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2023-12-4-538-545>
5. Савельев В.С. Панкреонекроз и панкреатогенный сепсис. Состояние проблемы / В.С. Савельев, М.И. Филимонов, Б.Р. Гельфанд, С.З. Бурневич // Анн. хирургии. — 2003. — №1. — С. 12–19
6. Пономаренко Е.В. Функциональная активность тромбоцитов: физиология и методы лабораторной диагностики / Е.А. Пономаренко, А.А. Игнатова, Д.В. Федорова и др. // Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology 2019. — Vol. 18. — № 3. — С. 112–119.
7. Binder NB, Depasse F, Mueller J, et al. Clinical use of thrombin generation assays. J Thromb Haemost. 2021; 19: 2918–2929.
8. Depasse F, Binder NB, Mueller J, et al. Thrombin generation assays are versatile tools in blood coagulation analysis: A review of technical features, and applications from research to laboratory routine. J Thromb Haemost. 2021; 19: 2907–2917.
9. Regnault V, Béguin S, Lecompte T. Calibrated Automated Thrombin Generation in Frozen-Thawed Platelet-Rich Plasma to Detect Hypercoagulability. PHT. 2003; 33: 23–29.

---

© Васильцова Наталья Александровна (nvas95@mail.ru); Намоконов Евгений Владимирович; Яшнов Алексей Александрович  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ОСТРОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ ПОЧЕК ПРИ ТРОПИЧЕСКОЙ МАЛЯРИИ

## ACUTE KIDNEY INJURY IN TROPICAL MALARIA

Yaya Latifatou

*Summary.* Of the degree of acute kidney failure (AKF) in patients with tropical malaria was studied. The authors observed 136 patients with AKF (n=45) and without (n=91). The frequency, peculiarities and risk factors for AKF development have been studied. Significant changes in clinical and laboratory parameters have been established in patients with malaria. It was shown that all patients with AKF meet the KDIGO criteria, which indicates the presence of acute kidney failure. Around 42.2 % of patients are in stage I, 22.2 % in stage II, and 35.6 % in stage III, indicating a variety of severity of acute kidney failure. The efficiency of using a combination of Artemether + Lumefantrine in the treatment of tropical malaria and the preventative treatment of acute kidney failure has been demonstrated.

*Keywords:* tropical malaria, laboratory diagnostics, kidney failure.

Йа́я Латифату

аспирант, ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы (г. Москва)  
yayalatifath@gmail.com

*Аннотация.* Проведено исследование степени острого поражения почек (ОПП) у больных тропической малярией. Под наблюдением находилось 136 пациентов, с ОПП (n=45) и без (n=91). Изучены частота, особенности течения и факторы риска развития ОПП. Установлены значимые изменения клинических и лабораторных показателей у больных малярией. Показано, что все пациенты с ОПП соответствуют критериям KDIGO, что говорит о наличии острого повреждения почек. Примерно 42,2 % пациентов находятся на стадии I, 22,2 % — на стадии II, и 35,6 % — на стадии III, что указывает на разнообразие степени тяжести острого повреждения почек. Показана эффективность применения комбинации препаратов Артемизинин + Люмефантрин при лечении тропической малярии и предотвращении возникновения острых повреждений почек.

*Ключевые слова:* тропическая малярия, лабораторная диагностика, поражение почек.

На сегодняшний день в России тропическая малярия не является эндемичным заболеванием, и заболеваемость в основном связана с завозными случаями, когда инфекция подхватывается людьми, вернувшимися из эндемичных регионов, таких как Африка или Южная Азия. При этом более половины случаев завозной малярии — тропическая (*Plasmodium falciparum*). [1–3, 5]. По данным Роспотребнадзора, в последние годы регистрируются единичные случаи завозной малярии, но точных прогнозов о частоте заболеваемости на 2024 год нет [6]. Следует учитывать, что заболеваемость может варьироваться в зависимости от миграции населения и вспышек инфекции в странах, с которых приезжают туристы или трудовые мигранты. Согласно данным за 2018 год наибольшее число случаев малярии (40 %) зарегистрировано среди граждан в возрасте от 20 до 29 лет. Доля заболевших в возрасте 30–39 лет составляет 20 %, в возрасте 40–49 лет — 16 %, в возрасте 50–59 лет — 12 %, в возрасте 60–69 лет — 7 % и 1 случай зарегистрирован у больного в возрасте 75 лет [6]. Наиболее грозным осложнением тропической малярии является острое поражение почек [4, 5].

Острое повреждение почек (острая почечная недостаточность) при тропической малярии может проявиться в результате нескольких механизмов [3, 5, 7]:

1. Гемолиз: малярийные паразиты разрушают эритроциты, что приводит к высвобождению гемоглобина и может вызвать почечную недостаточность.

2. Циркуляторные нарушения: снижение объема крови или шок, вызванные тяжелой малярией, могут привести к ишемии почек.
3. Иммунные реакции: воспалительные процессы и выработка антител могут повредить почечные ткани.
4. Обструктивные факторы: могут развиваться почечные тромбы или отеки, что также может препятствовать нормальному функционированию почек.

Клинические симптомы могут включать анурию, олигурию, отеки, изменения в анализах крови (повышение креатинина и мочевины). Лечение должно быть направлено на устранение инфекционного процесса, восстановление объема жидкости и коррекцию электролитных нарушений [1, 5, 7].

Острая почечная недостаточность при тропической малярии является осложнением, наблюдаемым у значительного числа пациентов. Частота ОПП в популяции больных малярией может варьироваться, но в некоторых исследовательских работах она составляет от 10 % до 30 % [1, 4, 5].

## Методы исследования

Данная работа выполнялась на базе государственной больницы в Республике Бенина. Объектами исследования стали клинические случаи пациентов с острым повреждением почек при тропической малярии. Предмет

исследования — анализ практических случаев острого повреждения почек при тропической малярии по материалам клинических наблюдений госпитализированных пациентов в больнице Гусунон города Пехунко. Под наблюдением находилось 136 пациентов, с ОПП (n=45) и без (n=91).

Основные методы исследования, используемые в работе являлись лабораторные исследования предикторов развития ОПП в крови и моче, наблюдение клинических изменений, а также ультразвуковая диагностика изменений структуры почек. Для оценки необратимого повреждения почечной ткани и прогнозирования исхода заболевания использовали расчет системы клубочковой фильтрации (СКФ), критерии KDIGO и динамику лабораторных маркеров.

### Результаты исследования

Проанализирован анамнез больных с острым поражением почек при малярии были выявлены следующие факторы риска:

1. Тяжесть малярии: более тяжелые формы малярии, такие как *Plasmodium falciparum*, связаны с более высоким риском ОПП.
2. Возраст: пожилые пациенты могут иметь более высокий риск.
3. Пол: наблюдается некоторая повышенная предрасположенность мужчин.
4. Состояние здоровья: пациенты с сопутствующими заболеваниями, такими как диабет или гипертония.
5. Длительность заболевания: длительное течение малярии может увеличить риск осложнений.

Распределение пациентов по факторам риска в группах обследования:

1. Лихорадочная реакция: в группе пациентов с острым повреждением почек (ОПП +) лихорадочная реакция наблюдалась у 25 человек (55,6 %). В группе без ОПП (ОПП -) этот показатель составил 26 человек (28,6 %). Это свидетельствует о значительном преобладании лихорадочной реакции у пациентов с ОПП.
2. Фитотерапия: 14 пациентов (31,1 %) с ОПП использовали фитотерапию, тогда как в группе без ОПП этот показатель составил 18 человек (19,8 %). Разница указывает на потенциальный риск, связанный с использованием растительных препаратов.
3. НПВП (нестероидные противовоспалительные препараты): у пациентов с ОПП только 2 человека (4,4 %) принимали самостоятельно НПВП, тогда как в группе без ОПП этот показатель был выше — 10 человек (11,0 %).
4. Хирургический анамнез: у пациентов с ОПП 6 человек (13,3 %) имели хирургический анамнез, в то

время как в группе без ОПП — только 4 человека (4,4 %). Разница может указывать на влияние предыдущих операций на риск развития ОПП.

Распределение пациентов по лабораторным предикторам в развитии ОПП в группах обследования:

1. Повышение креатинина: все 45 пациентов (100 %) с острым повреждением почек (ОПП +) имели повышенный уровень креатинина, что свидетельствует о его решающем участии в диагностике ОПП. В группе без ОПП (ОПП -) этот показатель не фиксируется.
2. Гемоглобин < 70 г/л (анемия): В группе ОПП + 8 пациентов (17,8 %) имели уровень гемоглобина ниже 70 г/л. В группе ОПП — данный уровень наблюдался у 12 пациентов (13,2 %), что может свидетельствовать об осложнениях, сопровождающихся кровотечением и гематурии.
3. Лейкоциты  $\geq 12 \times 10^9/\text{л}$ : в группе ОПП + лейкоцитоз (более  $12 \times 10^9/\text{л}$ ) был зафиксирован у 19 пациентов (42,2 %), в то время как в группе ОПП — это количество составило 26 человек (28,6 %). Значительное преобладание лейкоцитоза в группе с ОПП показывает наличие воспалительной реакции.
4. Тромбоцитопения <  $150 \times 10^3/\text{мм}^3$ : у 15 пациентов (33,3 %) с ОПП была выявлена тромбоцитопения, в то время как в группе ОПП — этот показатель составил 34 человека (37,4 %). Таким образом, частота тромбоцитопении была схожа в обеих группах.
5. Гипонатриемия < 135 ммоль/л: у 25 пациентов (4,4 %) с ОПП наблюдалась гипонатриемия, в то время как в группе без ОПП этот показатель был значительно выше — у 43 человек (47,3 %). Это может указывать на склонность к гипонатриемии у пациентов с малярией.
6. Гиперкалиемия  $\geq 7$  ммоль/л: в группе ОПП + гиперкалиемия была зарегистрирована у 3 пациентов (6,7 %), в то время как в группе без ОПП этот показатель составил 5 человек (5,49 %). Разница между группами незначительна.

### Оценка состояния почек с помощью УЗИ

УЗИ почек является важным инструментом для оценки формы, положения, размеров и состояния структуры почек, а также околопочечных тканей как до, так и после начала лечения. Форма и положение почек, ширина, паренхима при УЗИ почек у исследуемых пациентов с ОПП+ и ОПП- незначительно варьируются, однако в обеих группах УЗИ-показатели правой и левой почек находятся в пределах физиологической нормы.

Далее нами было проведено прогнозирование исхода заболевания на основе оценки повреждения почечной ткани.

Расчет системы клубочковой фильтрации (СКФ). У исследуемых пациентов с острым повреждением почек (ОПП +) СКФ значительно снижен, что указывает на устойчивые нарушения. Применение формул, таких как MDRD или CKD-EPI, позволяет более точно оценить функцию почек и определить степень почечной недостаточности.

Все 45 пациентов группы ОПП+ соответствуют критериям KDIGO, что говорит о наличии острого повреждения почек. В группе ОПП– ни один пациент не соответствовал этим критериям. Это подчеркивает тяжесть состояния пациентов с острым повреждением почек и допускает высокую вероятность необратимого повреждения.

Регулярный мониторинг лабораторных маркеров, таких как уровень креатинина, мочевины, электролитов (калий, натрий), а также анализов на наличие белка в моче показал у пациентов группы ОПП+ наблюдается резкое увеличение уровня креатинина и гиперкалиемия, что указывает на ухудшение функции почек.

Также среди пациентов ОПП+ наблюдались различные стадии повреждения почек по классификации KDIGO. Примерно 42,2 % пациентов находятся на стадии I, 22,2 % — на стадии II, и 35,6 % — на стадии III, что указывает на разнообразие степени тяжести острого повреждения почек.

Сравнение между пациентами, перенесшими малярию менее и более 6 месяцев назад, показало, что пациенты с более длительным течением заболевания имеют более выраженные поражения почек. Также при анализе функции почек у пациентов с острым повреждением (ОПП+) и без него (ОПП–) выявляются заметные различия в показателях диуреза и уровня креатинина. Средний суточный диурез среди пациентов с острым повреждением (ОПП +) составил  $784,3 \pm 234,2$  мл, что значительно ниже группы, без ОПП, где он составил  $1398,4 \pm 528,7$  мл. Уровень сывороточного креатинина в группе ОПП+ составил  $136,25 \pm 49,6$  мкмоль/л, что значительно выше, чем в группе ОПП–, где он равен  $82,3 \pm 24,1$  мкмоль/л. Эти данные подчеркивают наличие почечного поражения и нарушенную фильтрацию в группе ОПП+.

Следующим этапом нашего исследования было изучение эффективности терапевтических стратегий лечения тропической малярии для предотвращения возникновения ОПП.

Лечение тропической малярии требует применения специфических противомалярийных препаратов, поскольку это заболевание может приводить к серьезным осложнениям, включая острое повреждение почек (ОПП). Эффективность различных терапевтических стра-

тегий имеет критическое значение для предотвращения этих случаев. Нами были проанализированы следующие этапы фармакотерапии:

1. Применение противомалярийных препаратов: в практике лечения тропической малярии применяются различные противомалярийные схемы, среди которых выделяются:
  - инъекционный Артесунат: высокий процент пациентов с ОПП (62,2 %) получал этот препарат, что указывает на его широкое использование в клинической практике;
  - Артемизин + Люмефантрин (таблетки): препарат был назначен 48,9 % пациентов с ОПП и считался одним из основных в терапевтических стратегиях;
  - Дигидроартемизин Пиперахин (таблетки): использовался при лечении 31,1 % пациентов с ОПП;
  - Артемизин Амодахин (таблетки): назначался 20,0 % пациентов с ОПП.
2. Эффективность лечения: после курса лечения у пациентов с ОПП проводился анализ уровня паразитемии, креатинина, гемоглобина и тромбоцитов:
  - препарат Артемизин + Люмефантрин продемонстрировал лучшие результаты, обеспечивая значительное снижение уровня паразитемии и сохранение нормальных показателей креатинина, что указывает на его преимущество в терапии и восстановлении функции почек.
  - применение Дигидроартемизина + Пиперахина и Артемизина + Амодахина также оказало положительные результаты, однако они уступали по эффективности первому препарату.
3. Восстановление функции почек по итогам лечения:
  - у 46,2 % пациентов, получавших комбинацию Артемизин + Люмефантрин, наблюдалось полное восстановление функции почек;
  - у пациентов, получавших фармакотерапию Дигидроартемизином + Пиперахином и Артемизином + Амодахин показатели восстановления были ниже.
4. Долгосрочные результаты:
  - трехмесячное наблюдение за пациентами показало, что у пациентов, получавших Артемизин + Люмефантрин, было наименьшее количество случаев хронической болезни почек (ХБП) и протеинурии. В то же время, пациенты, принимавшие Дигидроартемизин Пиперахин и Артемизин Амодахин, имели более высокий риск развития этих состояний после лечения.

#### Выводы

1. Установлены значимые изменения клинических и лабораторных показателей у больных малярией, предикторов ОПП и показано, что диурез и уро-

вень креатинина служат важными маркерами для оценки функции почек, а их понимание имеет ключевое значение для диагностики и лечения пациентов с острым повреждением почек. Низкий диурез и высокий уровень креатинина указывают на более тяжелое состояние пациентов с ОПП, что требует активного вмешательства для предотвращения необратимого повреждения.

2. Показано, что все пациенты с ОПП соответствуют критериям KDIGO, что говорит о наличии острого повреждения почек. Примерно 42,2 % пациентов находятся на стадии I, 22,2 % — на стадии II, и 35,6 % — на стадии III, что указывает на разнообразие степени тяжести острого повреждения почек
3. Установлены важнейшие факторы риска развития ОПП у пациентов с малярией и необходимость

внимательного мониторинга, а также тщательного контроля лечения пациентов с малярией в группах повышенного риска.

4. Показано, что комплексная оценка с использованием СКФ, критериев KDIGO и динамики лабораторных маркеров позволяет прогнозировать исход заболевания и оценить риск необратимого повреждения почечной ткани. Это способствует адекватному выбору стратегии лечения и последующему мониторингу состояния пациентов.
5. Установлена высокая эффективность фармакотерапевтической стратегии, основанные на использовании комбинации Артемизинин + Люмефантрин, в лечении тропической малярии и предотвращении возникновения острых повреждений почек.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баранова А.М., Сергиев В.П., Гузеева Т.М., Токмалаев А.К. Клиническая настороженность к завозной малярии: прививные случаи и смертельные исходы в России // Инфекционные болезни: Новости. Мнения. Обучение. 2018. №4 (27). С. 97–99.
2. Каримов И.З., Лось-Яценко Н.Г., Мидикари А.С., Горovenko М.В., Аршинов П.С. Клинико-эпидемиологические особенности завозной малярии в Республике Крым за двадцатилетний период (1994–2014) // Казанский мед.ж.. 2014. №6. С. 916–920.
3. Коровина Н.А., Горайнова А.Н., Ваджих Абдулла Фара Азази Поражение почек у детей с тропической малярией // Детские инфекции. 2010. №2. С.28–31.
4. Курманова К.Б., Дерябина Л.В., Абильдаева Ф.К. Клиническая диагностика и лечение малярии // Вестник АГИУВ. 2010. №2. С. 61–63.
5. Скворцов В.В., Кулинич А.В., Мирзоян С.К. Малярия // Медицинская сестра. 2018. №4. С. 28–31.
6. Федеральная служба по надзору в сфере защите прав потребителей и благополучия человека URL: <https://rosпотребнадзор.ru> (дата обращения 10.01.2024)
7. Якубцевич Р.Э., Балла А.А., Дорохин К.М., Зуховицкая Е.В., Протасевич П.П., Лемеш А.В., Юрик Г.Е. Клинический случай успешного лечения тяжелой формы тропической малярии, осложненной синдромом полиорганной дисфункции // Журнал ГрГМУ. 2022. №2. С.226–230.

---

© Йайа Латифату (yayalatifath@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КОМПОНЕНТЫ СЕВЕРНОГО СТРЕССА В СТРУКТУРЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОГО КОНТИНУУМА (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

## NORTHERN STRESS COMPONENTS IN THE STRUCTURE OF THE CARDIOVASCULAR CONTINUUM (LITERATURE REVIEW)

**V. Kabisova  
D. Serdyukov  
V. Popova**

*Summary.* High cardiovascular morbidity and mortality is one of the leading problem in the Arctic region. A person is influenced by both well-known risk factors and factors of northern stress such as hypovitaminosis, deficiency of macronutrients, photoperiodism, low temperatures, high humidity, strong wind, pronounced heliogeomagnetic activity. Based on the results of an assessment of the works of Russian and foreign scientists in the field of polar medicine, this review presents the features of the direct influence of the components of adaptive northern stress on the cardiovascular system and their place in the cardiovascular continuum.

*Keywords:* Arctic, arterial hypertension, vitamin D, melatonin.

**Кабисова Влада Игоревна**

Аспирант, Военно-медицинская академия  
имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург  
vladakabisova@gmail.com

**Сердюков Дмитрий Юрьевич**

Доктор медицинских наук, доцент, Военно-медицинская  
академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург  
serdukovdu@yandex.ru

**Попова Вероника Борисовна**

Кандидат медицинских наук, доцент, Первый  
Санкт-Петербургский государственный медицинский  
университет имени И.П. Павлова  
veronika965@list.ru

*Аннотация.* Одной из ведущих проблем Арктического региона является повышенная кардиоваскулярная заболеваемость и смертность. Практически для всех северных территорий характерной является эссенциальная артериальная гипертензия, а также ее комбинация с атеросклерозом и ишемической болезнью сердца. Возрастает актуальность оптимизации профилактических мероприятий в связи с ранним дебютом гипертонической болезни в молодом возрасте. Помимо общепопуляционных факторов риска, организм человека оказывается под воздействием неблагоприятных климатогеографических условий крайнего севера. К ним относятся гиповитаминозы, преимущественно жирорастворимые (А, D, E), недостаточность макроэлементов (магний, кальций), чередование полярного дня и ночи, низкие температуры, повышенная влажность, сильный ветер, резкие колебания атмосферного давления, выраженная гелиогеомагнитная активность. По результатам оценки трудов отечественных и зарубежных ученых в области полярной медицины в данном обзоре представлены особенности непосредственного влияния на сердечно-сосудистую систему компонентов адаптационного северного стресса и их место в сердечно-сосудистом континууме. Рассмотрены последствия недостаточности витамина D, магния и мелатонина, их механизмы действия и точки приложения. Описаны особенности течения магнитных бурь в зоне авроральных свечений, основные показатели земной космической и погоды.

*Ключевые слова:* факторы риска, Арктика, артериальная гипертензия.

### Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения лидирующие позиции среди причин смертности во всем мире занимают сердечно-сосудистые заболевания [38].

На территории Российской Федерации смертность от болезней системы кровообращения также превалирует над другими причинами. Наиболее ярко данная проблема выявляется в Арктической зоне, куда входят

территории Республики Саха (Якутия), Мурманской и Архангельской областей, Красноярского края, Ненецкого, Ямало-Ненецкого и Чукотского автономных округов [23], относящиеся к районам Крайнего Севера [9].

Максимально смертность от болезней системы кровообращения представлена в регионах, характеризующихся активным заселением на протяжении нескольких поколений, а именно Мурманская, Магаданская, Камчатская области и Ненецкий округ [13].

Учитывая глобальность и распространённость проблемы, рост смертности и инвалидизации населения, Dzaui и Braunwald представили концепцию о сердечно-сосудистом континууме — цепочке изменений, происходящих в организме человека, начиная от факторов, вызывающих сердечно-сосудистые заболевания, до развития сердечной недостаточности и смерти. В дальнейшем данная концепция получила свое развитие. Признана ведущая роль профилактики возникновения заболеваний, и проведена всемирная оценка влияния различных факторов риска.

По данным межконтинентального исследования INTERHEART выделено девять ведущих факторов риска, обуславливающих 91 % риска возникновения инфаркта миокарда во всем мире: дислипидемия, курение, депрессия/стресс, сахарный диабет, артериальная гипертензия, абдоминальное ожирение, употребление алкоголя, недостаточная физическая активность, малое потребление овощей/фруктов [45].

Однако данные исследования не учитывали особенности регионов с суровыми климатическими условиями.

С целью поиска факторов повышенного риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний и смертности в Арктическом регионе, а также определения их места в сердечно-сосудистом континууме нами были проанализированы труды отечественных и зарубежных ученых в области полярной медицины.

**Витаминный статус жителей Севера**

Для жителей Арктического региона характерны проявления гиповитаминозов, преимущественно жирорастворимых, таких как А, Е и D [8, 20].

Отмечается уменьшение случаев гиповитаминоза С на фоне развития транспортной инфраструктуры и усовершенствования методов заготовки и доставки растительных пищевых продуктов из южных регионов [25].

С середины XX века отечественными учеными активно изучался процесс адаптации организма к неблагоприятным условиям крайнего Севера. Была охарактеризована перестройка метаболических процессов и выделен «Северный метаболический тип», с активизацией белково-липидного обмена и перекисного окисления липидов, снижением в крови инсулина и повышением липопротеидов высокой плотности при завершении процесса адаптации. Однако, в современных реалиях значительную долю пищевого рациона составляют углеводы, уменьшается поступление жирорастворимых витаминов с пищей [19]. Несостоятельность антиоксидантной системы приводит к повреждению клеточных мембран, в том числе эндотелиальных клеток, активизируя атеросклеротический процесс. На фоне истощения адаптационных возможностей растет атерогенное действие липидов за счет снижения активности липопротеинлипазы и повышения в крови уровня липопротеинов низкой плотности [29].



Рис. 1. Влияние недостаточности витамина Д на сердечно-сосудистую систему  
 Сокращения: ГМК — гладкомышечные клетки сосудов, ИЛ-6 — интерлейкин 6, ИЛ-10 — интерлейкин 10, РААС — ренин-ангиотензин-альдостероновая система, СД2 — сахарный диабет 2 типа, ФНОα — фактор некроза опухоли альфа, IGF — инсулиноподобный фактор роста, NO — оксид азота, PPAR-6 — активированный рецептор пролифераторов пероксисом.

Помимо антиоксидантных свойств, характерных для всех жирорастворимых витаминов, витамин Д оказывает многофакторное влияние на сердечно-сосудистую систему (рис. 1). Взаимодействует с рецептором гена ренина и отвечает за регуляцию ренин-ангиотензин-альдостероновой системы. Увеличивает количество интерлейкина — 10, оказывающего противовоспалительное действие, и уменьшает количество провоспалительных цитокинов (фактор некроза опухоли альфа, интерлейкин-6) в крови [40, 24]. Участвует в каскаде гена инсулина, инсулиноподобного фактора роста и синтезе жирных кислот. [37, 43].

При дефиците витамина Д увеличивается ригидность стенок сосудистого русла за счет отложения кальция, снижается биодоступность оксида азота [16].

По данным масштабных метаанализов не удалось выявить непосредственную связь между приемом препаратов витамина Д и инсулинорезистентностью, метаболизмом глюкозы и снижением риска сердечно-сосудистых событий, сердечно-сосудистой смертности и смертности от всех причин [36, 41, 42].

Однако возраст пациентов, включенных в исследования, был выше 50 лет, не учитывались географическое положение и этническая принадлежность. Не оценивалось влияние гиповитаминоза на возникновение сердечно-сосудистых заболеваний на доклинической стадии у пациентов молодого и среднего возраста.

#### Макроэлементозы

По данным ВОЗ в регионах с мягкой водой артериальная гипертензия и сердечно-сосудистая смертность выше на 25 %. [13, 44].

Таяние ледников и обеднение подзолистых почв приводят к недостатку макроэлементов в питьевой воде, вызывая дефицит содержания кальция и магния в крови.

Проживание в Арктическом регионе, вне зависимости от страны проживания, приводит к латентному дефициту магния [10, 34].

Магний самостоятельно участвует в большинстве биохимических реакций организма (рис. 2). Отвечает за поляризацию клеточных мембран и спонтанную клеточную активность кардиомиоцитов. Способствует снижению артериального давления, уменьшая сопротивление периферических и легочных сосудов, являясь антагонистом кальция. Ингибирует тромбоксан А2, препятствуя агрегации тромбоцитов. Также магний активно участвует в метаболизме липидов, и его дефицит проявляется повышением в крови уровня триглицеридов, липопротеинов низкой и очень низкой плотности [4].

Диагностика содержания магния в организме затруднена, в связи с преимущественно внутриклеточной локализацией макроэлемента. Таким образом дефицит магния в клетках может длительное время не идентифицироваться и сопровождаться нормальными значениями в сыворотке крови [17].

#### Фотопериодизм

Зоне Арктики присущ особенный фотопериодизм в виде полярных дня и ночи. Летом длинный световой день и повышенный ультрафиолетовый радиационный фон способствуют гиперактивации симпатической нервной системы, возбудимости, выбросу в кровь гормонов стресса. Полярная ночь напротив характеризуется астенизацией и процессами торможения [30].

Нарушаются биоритмы, за которые в организме отвечает гормон — мелатонин, который образуется в эпифизе при низкой освещенности. Таким образом, в норме, в полярную ночь уровень мелатонина повышается, с постепенным снижением в период полярного дня. Однако для Арктического региона характерен недостаток мелатонина как в период полярного дня, так и в период по-

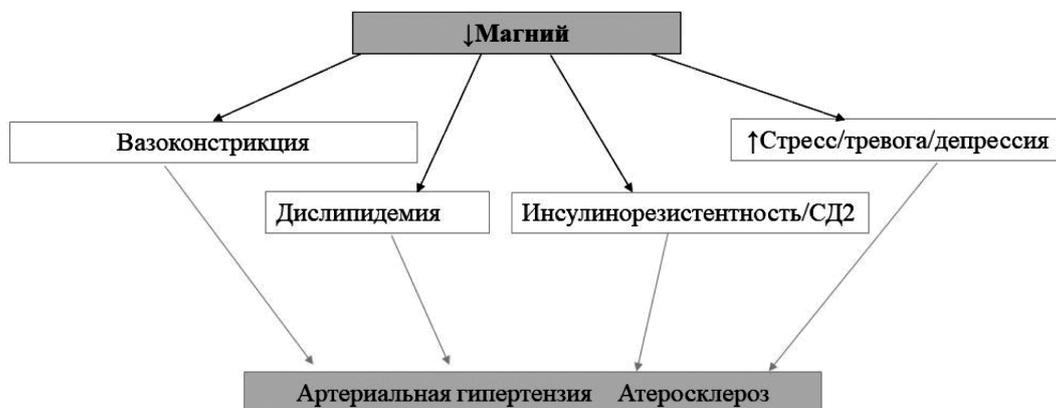


Рис. 2. Влияние недостаточности магния на сердечно-сосудистую систему.

Сокращения: СД2— сахарный диабет 2 типа.



Рис. 3. Влияние недостаточности мелатонина на сердечно-сосудистую систему

Сокращения: ГМК — гладкомышечные клетки сосудов, КМЦ — кардиомиоциты, ЧСС — частота сердечных сокращений, NO — оксид азота.

лярной ночи вследствие истощения резервных систем в процессе адаптации. [5].

Таким образом снижается его кардиопротективное воздействие, обусловленное снижением симпатической активности, антиоксидантными свойствами как универсального акцептора свободных радикалов, вазодилатирующим, противовоспалительным и антиагрегантным эффектами [2, 3, 21, 35] (рис. 3).

Отмечается гипотензивное действие препаратов мелатонина у больных гипертонической болезнью [31, 33]. По результатам 8-летнего наблюдения выявили, что снижение секреции эндогенного мелатонина может являться фактором риска развития гипертонической болезни [6].

### Метеорологические факторы

Арктический регион характеризуется суровыми природно-климатическими условиями. Низкие температуры воздуха, высокая влажность, резкие колебания атмосферного давления оказывают непосредственное влияние на состояние сердечно-сосудистой системы человека (рис. 3).

Холод, создавая условия для общего охлаждения организма, приводит к активации симпатической нервной системы. Индуцирует вазоконстрикцию, увеличивает общее периферическое сосудистое сопротивление, вызывая артериальную гипертензию. Известно, что при локальном охлаждении в коронарных сосудах также повышается сопротивление, приводя в некоторых случаях к снижению коронарного кровотока. Помимо спазма сосудов, холод инициирует бронхоспазм, что при дли-

тельном воздействии приводит к легочной гипертензии, которая в свою очередь ухудшает течение артериальной гипертензии путем ремоделирования правого желудочка в виде гипертрофии в ответ на увеличение нагрузки [11].

Влажность воздуха на Севере имеет парадоксальные характеристики. Абсолютная влажность сохраняется на низком уровне, в то время как относительная высока и зимой, и летом. Ветер усиливает охлаждающее действие низких температур, особенно в сочетании с относительной влажностью, затрудняет дыхание, способствует тревожности и депрессивным расстройствам.

В зоне высоких широт наблюдаются резкие и частые перепады атмосферного давления. В комбинации вышеперечисленные климатические факторы приводят к колебаниям и снижению парциальной плотности кислорода в воздухе, что, вероятно, влияет на содержание кислорода в альвеолах, оказывая влияние на газообмен и способствуя проявлениям северной гипоксии [32].

Группой ученых Военно-медицинской академии был проведен ряд исследовательских работ по оценке барометеочувствительности у военнослужащих в условиях Крайнего Севера, в результате которых удалось выявить два типа — барометеочувствительных и барометеоустойчивых людей. В состав первой группы вошли молодые люди с нейроциркуляторной астенией в анамнезе, а среди больных гипертонической болезнью за барометеочувствительность отвечала устойчивая гиперсимпатикотония и снижение чувствительности механорецепторов сердца [18, 32].

В ответ на изменения погодных условий наиболее ярко реагируют люди со сниженными адаптационными

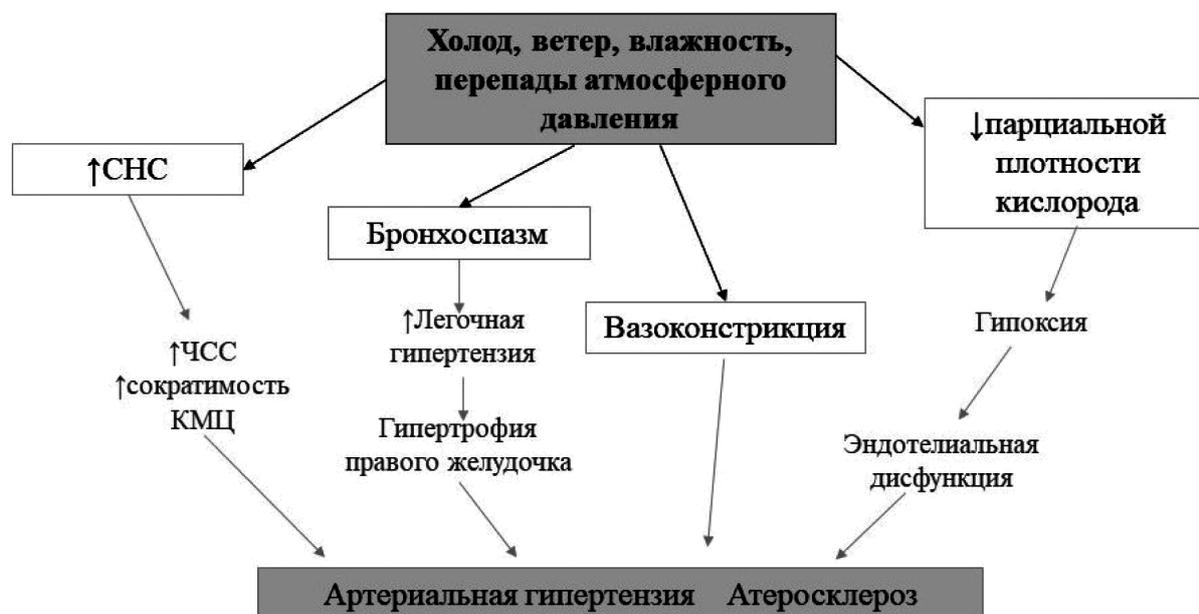


Рис. 4. Влияние неблагоприятных климатических факторов на сердечно-сосудистую систему  
Сокращения: КМЦ — кардиомиоциты, ЧСС — частота сердечных сокращений.

возможностями организма. При невозможности организма подстроиться под изменения окружающей среды в условиях переутомления, стресса или болезни — возникает метеопатия. Наиболее метеочувствительной системой является сердечно-сосудистая, как первая инстанция в запуске компенсаторно-приспособительных реакций.

#### Гелиогеофизические колебания

Космическая активность солнца оказывает воздействие на организм человека по всей планете. Однако именно в зоне высоких широт защитные свойства магнитного поля Земли ослабевают и образуются воронки, через которые проникают космические частицы. При контакте с газами атмосферы возникает красивый визуальный эффект — свечение, или полярное сияние. Здесь располагается эпицентр взаимодействия в виде локального сжатия электромагнитного поля, от которого колебания распространяются в направлении средних и низких широт [7].

Сердечно-сосудистая система одной из первых реагирует на колебания электромагнитного поля Земли [15]. При этом здоровый человек в состоянии компенсировать воздействия геофизической возмущенности, в то время как люди со сниженными адаптационными резервами склонны к обострениям кардиоваскулярной патологии [27].

По данным С.Н. Самсонова и др. гелиогеофизическая активность, предположительно, приводит к увеличению неблагоприятных кардиальных событий в виде инфаркта миокарда у мужчин 30–40 лет. Отмечено, что

в субарктической зоне негативный эффект оказывают ночные геомагнитные возмущения [28]. А.А. Андрущенко и др. выявили подъем артериального давления у здоровых мужчин 40–49 лет, проживающих в Арктическом регионе на протяжении 7–9 лет, в периоды повышенной гелиогеомагнитной активности в метеопатильные сезоны года. У молодых мужчин такой зависимости выявить не удалось. Предложено ввести гелиогеомагнитную активность как внешний фактор риска развития артериальной гипертензии в данном регионе [1].

Однако, по данным множества авторов отсутствует прямая корреляция между уровнем артериального давления у конкретных лиц и показателями космической погоды [26]. Для решения проблемы была предложена концепция воздействия совокупности факторов космической и локальной погоды. О.В. Хабарова и С. Дмитрива успешно использовали синтетический индекс «обобщенной жесткости погоды» [39]. Ю.И. Гурфинкель и др. также провели оценку комбинированного влияния космической (К-индекс геомагнитной активности) и земной (атмосферное давление, температура и влажность воздуха) погоды на сосудистый тонус. Определили, что показатель жесткости артерий (скорость распространения пульсовой волны) оказался наиболее чувствительным к геомагнитным возмущениям при определенных параметрах земной погоды [12].

В Арктической зоне, характеризующейся повышенной интенсивностью и количеством геомагнитных возмущений, данные несколько отличаются от полученных в средних широтах. Новикова Т.Б. и др. при оценке производственного травматизма, суицидов, случаев смерти от сердечно-сосудистых заболеваний выявили



Рис. 5. Влияние повышенной геомагнитной активности на сердечно-сосудистую систему

совпадение максимумов изучаемых событий при сезонном распределении, большинство из которых наблюдались при минимальной геомагнитной активности, либо сразу после локального возмущения [22]. Еникеев А.В. и др. исследовали влияние солнечной и магнитной активности на уровень экстремальных ситуаций и внезапных заболеваний (в том числе 267 случаев сердечно-сосудистых и нервно-психических расстройств) среди шахтеров на арх. Шпицберген отмечают, что почти половина всех событий имели место либо во время, либо сразу после геомагнитного возмущения, при том, что значительная часть произошла во время магнитоспокойных дней [14]. Вероятно, такая реактивность связана с повышенной чувствительностью человека к шумам и волнам, входящим в резонанс с сердечно-сосудистой деятельностью. Колебания в высоких широтах наиболее интенсивны и на пике своего действия не приводят к сердечно-сосудистым катастрофам, проявляясь в момент затухания либо при спаде геомагнитной активности.

Интересную модель взаимодействия сердечно-сосудистой системы с геомагнитными возмущениями представил В.И. Хаснулин, в которой сердце выступает в качестве насоса, обладающего собственным электромагнитным полем (ЭМП). В период магнитных бурь ЭМП сердца синхронизируется с ЭМП Земли, повышая эффективность работы сердечной мышцы за счет увеличения силы сокращений, что способствует повышению артериального давления. Функционирование в режиме высокой интенсивности со временем приводит к истощению ресурсов организма, снижению адапционных свойств и появлению патологии, особенно в рамках метаболических сдвигов и окислительного стресса [32].

Таким образом, колебания в геомагнитном поле Земли наиболее интенсивны в зоне авроральных свечений. Их воздействие распространяется от клеточного до организменного уровня. Наиболее чувствительной являются сердечно-сосудистая и нервная системы, особенно после истощения адапционных возможностей. Вероятнее всего точками воздействия в сердечно-сосудистом порочном круге будут являться: механическое усиление работы сердечной мышцы, снижение образования оксида азота, нарастание свободнорадикальных реакций, активация вегетативной нервной системы, гиперкоагуляция крови (рис. 5).

### Заключение

Каждый из перечисленных компонентов северного стресса занимает место в порочном круге развития сердечно-сосудистых заболеваний, дополняет и потенцирует общеизвестные факторы риска. Несмотря на физиологичный характер реакции организма в ответ на воздействие составляющих синдрома полярного напряжения, нередко процесс адаптации не завершается и не удается достигнуть стадии резистентности, что приводит к патологическому течению метаболических, гормональных и вегетативных процессов. В результате, в первую очередь возникают болезни адаптации, проявляющиеся артериальной гипертензией, инсулинорезистентностью, дислипидемией, эндотелиальной дисфункцией, что приводит к запуску атеросклеротического процесса и ремоделированию сердечной мышцы, особенно у предрасположенных людей с ослабленным резервным потенциалом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андрущенко А.А., Катюхин В.Н., Кострюкова Н.К., Прокопьев М.Н. Повышенная гелиогеомагнитная активность как фактор риска артериальной гипертензии у жителей севера // Вестник новых медицинских технологий. — 2007. — № 1, Т. XIV. — С. 65–67.
2. Антропов А.В., Кветная Т.В., Козлов К.Л. Особенности секреции мелатонина при атеросклерозе // Научные ведомости. Серия медицина. Фармация. — 2011. — №22 (117). Выпуск 16/1. — С.10–14.
3. Арушанян Э. Б. Универсальные терапевтические возможности мелатонина // Клиническая медицина. — 2013. — №2. — С.4–8.
4. Барышникова Г.А., Чорбинская С.А., Степанова И.И., Блохина О.Е. Дефицит калия и магния, их роль в развитии сердечно-сосудистых заболеваний и возможность коррекции? // Consilium Medicum. — 2019. — №21(1). — С. 67–73.
5. Бочкарев М.В., Рагозин О.Н., Радыш И.В. Проявления сезонного десинхроноза в условиях севера в зависимости от функционального состояния эпифиза // Электронный научно-образовательный вестник «Здоровье и образование в XXI веке». — 2007. — №4(Т.9). — С.130.
6. Будневский А.В., Овсянников Е.С., Резова Н.В., Шкатова Я.С. Мелатонин и артериальная гипертензия: возможная роль в комплексной терапии // Терапевтический архив. — 2017. — №12. — С. 122–126.
7. Владимирский Б.М., Темурыянц Н.А., Туманянц К.Н., Чуян Е.Н. Обоснование возможности защиты биологических объектов от вариаций космической погоды // Пространство и время. — 2017 — №2-4(28-30) — С. 301–308.
8. Власова О.С., Третьякова Т.В., Бичкаева Ф.А., Баранова Н.Ф. Обеспеченность витаминами А, Е и взаимосвязи их уровней с насыщенными жирными кислотами у девочек-подростков приарктического и арктического регионов // Известия Коми научного центра УрО РАН. Сыктывкар. — 2017. — № 4(32). — С. 41–48.
9. Влияние глобальных климатических изменений на здоровье населения российской Арктики / под ред. Б.А.Ревича. — М.: Представительство ООН в России, 2008.
10. Горбачев А.Л., Луговая Е.А., Степанова Е.М. Микроэлементный профиль людей старческого возраста европейского и азиатского Севера России // Гигиена и санитария. — 2016. — №95(5). — С. 432–439.
11. Гудков А.Б., Попова О.Н., Небученных А.А. Новосёлы на Европейском Севере. Физиолого-гигиенические аспекты: монография. / Архангельск: Изд-во СГМУ, 2012. — 285 с.
12. Гурфинкель Ю.И., Ожередов В.А., Бреус Т.К., Сасонко М.Л. Влияние космической и земной погоды на показатели жесткости артерий и функцию эндотелия человека // Биофизика. — 2018. — № 2(63). — С. 402–411.
13. Доршакова Н.В. Карапетян Т.А. Особенности патологии жителей севера // Экология человека. — 2004. — №6. — С. 48–52.
14. Еникеев А.В., Касаткина Е.А., Храмов А.В., Шумилов О.И. Исследование воздействия гелиогеофизической активности на практически здоровых людей, работающих в полярной шапке (арх. Шпицберген) // Вестник новых медицинских технологий. — 2007. — № 1, Т. XIV. — С. 63–65.
15. Зенина О.Ю., Макарова И.И., Игнатова Ю.П., Аксенова А.В. Хронофизиология и хронопатология сердечно-сосудистой системы (обзор литературы) // Экология человека. — 2017. — № 1. — С. 25–33.
16. Каронова Т.Л., Андреева А.Т., Злотникова Е.К., Гринева Е.Н. Дефицит витамина D и артериальная гипертензия: Что общего? // Артериальная гипертензия. — 2017. — №23(4). — С. 275–281.
17. Кириллова А.В., Доршакова Н.В., Дуданов И.П. К вопросу о патогенезе гипертонической болезни и ишемической болезни сердца при дефиците потребления кальция и магния в условиях севера // Экология человека. — 2006. — №1. — С. 3–8.
18. Корнеева Я.А., Симонова Н.Н., Дегтева Г.Н., Дубинина Н.И., Федотов Д.М. Психофизиологические и психологические индикаторы метеочувствительности трудоспособного населения Крайнего Севера // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2013. — № 2(2). — С. 388–391.
19. Корчина Т.Я., Корчин В.И., Лапенко И.В., Лубяко Е.А., Ткачева С.В., Гребенюк В.Н. Значение питания для адаптации человека к условиям северного региона // Научный медицинский вестник Югры. — 2014. — №1-2. — С. 105–109.
20. Малявская С.И., Кострова Г.Н., Лебедев А.В., Гольшева Е.В., Карамян В.Г. Уровни витамина D у представителей различных групп населения города Архангельска // Экология человека. — 2018. — №1. — С. 60–64.
21. Недогода С.В., Смирнова В.О., Барыкина И.Н., Саласюк А.С., Хрипаева В.Ю., Палашкин Р.В., Попова Е.А. Влияние терапии препаратом мелатонина на функцию эндотелия, артериальное давление и сосудистую жесткость у пациентов с метаболическим синдромом и нарушениями сна // Артериальная Гипертензия. — 2017. — №23(2). — С. 150–159.
22. Новикова Т.Б., Шумилов О.И., Касаткина Е.А., Храмов А.В. Взаимосвязь производственного травматизма в зоне авроральной активности с космофизическими факторами // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. — 2013. — № 3. — С. 67–74.
23. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу: утв. Президентом РФ 18.09.2008. Пр-1969.
24. Подзолков В.И., Покровская А.Е., Панасенко О.И. Дефицит витамина D и сердечно-сосудистая патология // Терапевтический архив. — 2018. — №09. — С. 144–150.
25. Потопицына Н.Н., Бойко Е.Р. Витаминный статус жителей Европейского Севера России и его зависимость от географической широты // Журнал медико-биологических исследований. — 2018. — Т. 6, № 4. — С. 376–386.
26. Рагульская М.В., Чибисов С.М. Биотропное воздействие космической погоды: новые направления исследований // Владикавказский медико-биологический вестник. — 2011. — № 19(12). — С. 141–150.
27. Самсонов С.Н., Манькина В.И., Паршина С.С. Влияние космической погоды на сердечно-сосудистую систему людей здоровых и с ослабленными адаптационными возможностями // Психосоматические и интегративные исследования. — 2016. — №2. — С.2–6.

28. Самсонов С.Н., Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Петрова П.Г. Влияние космической погоды на заболевания сердечно-сосудистой системы человека в субарктических широтах // Геофизические процессы и биосфера. — 2013 — №4(12) — С. 46–59.
29. Севостьянова Е.В. Особенности липидного и углеводного метаболизма человека на Севере (литературный обзор) // Бюллетень сибирской медицины. — 2013. — Т. 12. № 1. — С. 93–100.
30. Терещенко П.С., Петров В.Н. Вероятная причина заболеваемости населения проживающего в районах Арктики / Российская академия наук. Труды Кольского научного центра. — 2018 — №2(9) — С.145–150
31. Фильченко И.А., Коростовцева Л.С., Терещенко Н.М., Свиричев Ю.В., Вознюк И.А. Коморбидные инсомния и артериальная гипертензия: патогенетические модели и перспективные биомаркеры // Артериальная Гипертензия. — 2019. — №25(2). — С. 143–157.
32. Хаснулин В.И., Воевода М.И., Хаснулин П.В., Артамонова О.Г. Современный взгляд на проблему артериальной гипертензии в приполярных и арктических регионах (обзор литературы) // Экология человека. — 2016. — № 3. — С. 43–51.
33. Хорева Е.Т., Демьяненко А.В., Воронин Т.С. Влияние мелатонина на показатели церебральной гемодинамики у больных гипертонической болезнью // Клиническая медицина. — 2016. — №94(1). — С.28–30.
34. Чащин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., Одланд Ю.О., Ковшов А.А. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике. // Экология человека. — 2014. — №1. — С. 3–12.
35. Шуркевич Н.П., Ветошкин А.С., Губин Д.Г., Гапон Л.И., Пошинов Ф.А., Шипицына Н.В. Преимущества персонализированного подхода к хронотерапии артериальной гипертензии у вахтовиков Ямала // Артериальная гипертензия. — 2016. — №22(1). — С.6–14.
36. Barbarawi M., Kheiri B., Zayed Y., Barbarawi O., Dhillon H., Swaid B. D Supplementation and Cardiovascular Disease Risks in more than 83 000 individuals in 21 randomized clinical trials. A Meta-analysis // JAMA Cardiology. — 2019. — Vol. 4. Suppl. 8. — P. 765–776.
37. Brevetti G., Colao A., Schiano V. et al. IGF system and peripheral arterial disease: Relationship with disease severity and inflammatory status of the affected limb // Clinical Endocrinology (Oxford). — 2008. — Vol.69, Is6. — P. 894–900.
38. Global health estimates: deaths by cause, age, sex and country, 2000–2012. Geneva: World Health Organization, 2014.
39. Khabarova O., Dimitrova S. On the nature of people's reaction to space weather and meteorological weather changes // Sun and Geosphere. — 2009. — №4(2). — P.60–71.
40. Liefwaard M.C., Ligthart S., Vitezova A., Hofman A., Uitterlinden A.G., Kiefte-de Jong J.C., et al. Vitamin D and C-Reactive Protein: A Mendelian Randomization Study // PLoS ONE. — 2015. — №10(7).
41. Manson J.E. Cook N.R., Lee I.M., Christen W., Bassuk S.S., Mora S., Gibson H., Gordon D., Copeland T., D'Agostino D., Friedenberg G., Ridge C. Vitamin D Supplements and Prevention of Cancer and Cardiovascular Disease // N Engl J Med. — 2019. — №380. — P. 33–44.
42. Pramono A., Jocken J., Blaak E. Vitamin D deficiency in the aetiology of obesity-related insulin resistance // Diabetes Metab Res Rev. — 2019. — V.35, I.5. — P.31–46.
43. Vratsis C., Astrid E., Oever K., Levels J., Huet S., Elferink R, Groen F., Groen A. Peroxisome proliferator-activated receptor delta activation leads to increased transintestinal cholesterol efflux // J. Lipid. Res. — 2009. — №50(10). — P. 2046–2054.
44. WHO, UNICEF and ICCIDD. Assessment of the Iodine Deficiency Disorders and monitoring their elimination. — Geneva: WHO / Euro / NUT. — 2001. — P. 1–107.
45. Yusuf S, Hawken S, Öunpuu S et al. Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study // Lancet. — 2004. — 364. — P. 937–952.

---

© Кабисова Влада Игоревна (vladakabisova@gmail.com); Сердюков Дмитрий Юрьевич (serdukovdu@yandex.ru);

Попова Вероника Борисовна (veronika965@list.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ИШЕМИИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КОРОНАРНОГО ШУНТИРОВАНИЯ У БОЛЬНЫХ С СОПУТСТВУЮЩИМ ОККЛЮЗИРУЮЩИМ ПОРАЖЕНИЕМ АРТЕРИЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

DETERMINATION OF THE DEGREE OF LOWER LIMB ISCHEMIA AFTER VARIOUS TYPES OF CORONARY ARTERY BYPASS GRAFTING IN PATIENTS WITH CONCOMITANT OCCLUSIVE LESIONS OF THE LOWER LIMB ARTERIES

**A. Kazakov  
N. Sokolova  
R. Kerimkhanov  
E. Chelebov  
S. Mejidov  
A. Makhuri**

*Summary.* The article is devoted to a modern and extremely relevant issue of cardiovascular surgery — assessment of the degree of progression of lower limb ischemia after coronary artery bypass grafting in patients with coronary heart disease and concomitant lesions of the arteries of the lower limbs.

*Keywords:* aorto-coronary bypass surgery, progression of lower limb ischemia.

**Казakov Андрей Юрьевич**

д.м.н., доцент,

ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России, г. Тверь  
andre\_kazakov@mail.ru

**Соколова Наталья Юрьевна**

д.м.н., доцент, Место работы ФГБОУ ВО Тверской ГМУ  
Минздрава России, г. Тверь  
nsokolova1711@gmail.com

**Керимханов Роман Олегович**

Аспирант,

ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России, г. Тверь  
rotankerimkhanov@mail.ru

**Челебов Эльмар Эфендиевич**

Аспирант,

ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России, г. Тверь  
Cheleb.elmar1995@mail.ru

**Меджидов Сабир Рустамович**

Аспирант,

ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России, г. Тверь  
medzhidovsabir81@gmail.com

**Махаури Анзор Дикалович**

Аспирант,

ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России, г. Тверь  
mag2084@mail.ru

*Аннотация.* Статья посвящена современному и крайне актуальному вопросу сердечно-сосудистой хирургии — оценке степени прогрессирования ишемии нижних конечностей после проведения аортокоронарного шунтирования у больных с ИБС и сопутствующим поражением артерий нижних конечностей.

*Ключевые слова:* аортокоронарное шунтирование, прогрессирование ишемии нижних конечностей.

Ишемическая болезнь сердца является ведущей причиной инвалидности и смертности трудоспособного населения во всем мире и остается одной из самых актуальных проблем здравоохранения [1]. Только в США ежегодно у 5–6 млн жителей диагностируют ИБС, которая является причиной смерти более чем у 1 млн человек в год [2, 3, 4]. Лечение ИБС, имеет основную цель — уменьшение клинических проявлений, а также профилактика развития инфаркта миокарда [5,6,7]. Наиболее сложным вопросом в современной сердечно-сосудистой хирургии является помощь больным с ИБС

и сопутствующей окклюзирующим поражением артерий нижних конечностей [1, 8, 9]. На протяжении десятилетий операция КШ остается золотым стандартом лечения ИБС [10]. Коронарное шунтирование выполняется с применением аппарата искусственного кровообращения и без него по методике на работающем сердце. Наличие клинически значимого окклюзионного поражения артерий нижних конечностей является дополнительным фактором риска проведения коронарного шунтирования. Ряд авторов указывает на возможность прогрессирования ишемии конечностей после реваскуляризации миокар-

да в условиях ИК, отмечая усиление ишемических болей в нижних конечностях [11-13]. Однако данный вопрос требует дальнейшего изучения.

*Цель исследования* — изучить степень прогрессирования ишемии нижних конечностей у пациентов с ИБС и сопутствующим атеросклеротическим поражением артерий нижних конечностей после различных видов коронарного шунтирования.

В исследование включено 112 пациентов с ИБС с сопутствующим поражением артерий нижних конечностей. Контрольную группу составили 54 взрослых пациентов, перенесших АКШ с нормальным лодыжечно-плечевым индексом (ЛПИ). Основная группа 1 (81 человек), которым реваскуляризация миокарда в объеме АКШ проводилась в условиях искусственного кровообращения. Большинство обследованных — 73 человека (90,1 %) были мужчины, Средний возраст ( $66,7 \pm 3,8$  лет) и колебался от 48 до 72 лет. Группа 2 (сравнения), (85 больных) — операции коронарного шунтирования выполнялись на работающем сердце. Преобладали мужчины — 78 (91,7 %). Средний возраст составил в группе  $64,8 \pm 2,5$  лет (от 49 до 73 лет).

Критерии включения в исследование: мужчины и женщины, возраст пациента от 40 до 85 лет, наличие ИБС III–IV функционального класса, требующей реваскуляризации миокарда, с наличием облитерирующего поражения магистральных артерий нижних конечностей. Прогрессирование ишемии нижних конечностей было определено, как развитие ишемических болей в покое (стадия III по классификации Фонтен Покровского).

### Основные результаты

В течение первых суток послеоперационного периода у 15,7 % больных возникло утяжеление хронической ишемии нижних конечностей с развитием болей в покое. Прогрессирование ишемии регистрировалось у 8,2 % пациентов в группе операций на работающем сердце, и у 23,4 % больных, перенесших вмешательство в условиях ИК ( $p < 0,001$ ). При изучении прогрессирования ишемии нижних конечностей в зависимости от степени первоначальной ишемии выявлено, что наиболее часто боли в покое возникли у 16 (29,1 %) со IIБ степенью хронической ишемии. Еще более часто прогрессирование ишемии конечностей наблюдалось при проведении операций в условиях ИК — 40,7 % и минимально на работающем сердце — 17,8 %. У пациентов с IIA степенью утяжеление ишемии наблюдалось существенно реже — 8 (14 %), причем после выполнения операций в условиях искусственного кровообращения в 3,1 раза чаще, чем по методике работающего сердца. Самая низкая частота прогрессирования ишемии конечности зарегистрирована у оперированных без поражения артерий нижних

конечностей (3,7 %). При выполнении операций на работающем сердце данного осложнения не наблюдалось, а после проведения вмешательств в условиях ИК — в 7,7 % случаев.

Далее изучена закономерность возникновения прогрессирования ишемии в зависимости от продолжительности искусственного кровообращения. Выявлено, что при высокой длительности искусственного кровообращения более 100 минут утяжеление ишемии нижних конечностей наблюдалось в 60,8 % случаев, что в 7 раз чаще чем после операций с ИК менее 100 минут.

Наименьшая частота прогрессирования ишемии нижних конечностей зарегистрирована у пациентов без поражения артерий нижних конечностей, которая наблюдалась в двух случаях (25 %) при операциях с ИК более 100 минут (см. таблицу 1).

Таблица 1.

Частота прогрессирования ишемии нижних конечностей в зависимости от продолжительности искусственного кровообращения в течении первых суток послеоперационного периода

Степень ишемии н.к. вид операции	всего	ИК менее 100 мин	ИК более 100 мин
Нет поражения артерий н.к.	2 (7,7 %)	0	2 (25 %)
Наличие поражения артерий н.к.	17 (30,9 %)	5 (12,8 %)	12 (75 %)
2А ст ишемии	6 (21,4 %)	1 (5 %)	5 (62,5 %)
2Б ст ишемии	11 (40,7 %)	4 (21 %)	7 (87,5 %)

Наиболее часто (75 %) боли в покое в нижних конечностях в раннем послеоперационном периоде наблюдались у лиц с наличием атеросклеротического поражения артериального русла конечностей, и особенно часто при наличии более значимой 2Б степени хронической ишемии (см. таблицу 1).

Боль в покое исчезла у большинства этих пациентов на 15-й послеоперационный день. В конце второго месяца боли в покое исчезли у всех пациентов. Сохранение болей в покое в нижних конечностях отмечено в 2,3 % случаев после операций на работающем сердце, а при вмешательствах в условиях ИК в 3,2 раза чаще (7,4 %).

К 15 дню послеоперационного периода наиболее часто значимая ишемия нижних конечностей сохранялась у пациентов, перенесших хирургическое вмешательство в условиях искусственного кровообращения и при наличии изначальной более тяжелой 2Б степени хронической ишемии (18,5 %). При наличии перед операцией 2А

степени хронической ишемии боли в покое сохранялись только у 1 больного (3,6 %) после проведения АКШ в условиях ИК (см. таблицу 2).

Таблица 2.

Частота прогрессирования ишемии конечностей в зависимости от степени ишемии нижних конечностей на 15 сутки послеоперационного периода

Степень ишемии н.к. вид операции	2А ст ишемии (N=57)	2Б ст ишемии (N=55)	Нет поражения артерий н.к. (N=54)
Операции в условиях ИК	1 (3,6 %)	5 (18,5 %)	0
Операции на работающем сердце	0	2 (7,1 %)	0
всего	1 (1,7 %)	7 (12,7 %)	0

При наблюдении в динамике в послеоперационном периоде наиболее тяжелая ишемия регистрировалась при проведении вмешательств в условиях ИК с ее длительностью более 100 минут и она сохранялась у 16,7 % больных, а при длительности менее 100 минут — 3,5 %.

Далее нами изучена динамика коллатерального кровообращения в нижних конечностях в ближайшем послеоперационном периоде в зависимости от степени первоначальной ишемии конечностей. Выявлено снижение коллатерального кровообращения отмечено у всех пациентов с хронической ишемией нижних конечностей. Наиболее тяжелые изменения регионарной гемодинамики регистрировались у больных с наличием IIБ степенью ишемии: снижение регионарного давления по ПБА на 16,7 %, давления по ЗБА на 24,5 % в сравнении с дооперационными данными.

Изучены показатели микроциркуляции у пациентов в течение первых суток послеоперационного периода после кардиальных вмешательств. Диагностировано, что после кардиальных вмешательств в первые сутки послеоперационного периода регистрируется снижение значений микроциркуляции как у пациентов с сопутствующим атеросклеротическим поражением артерий нижних, так и без него. У пациентов с ИБС и отсутствием поражением периферических артерий нижних конечностей отмечается статистически незначимое, небольшое снижение показателей микроциркуляции: снижение исходного кровотока на 8,5 %, снижение теста постокклюзионной гиперемии на 10,2 %, пробы Вальсальва — на 9,3 %.

У пациентов с сопутствующим облитерирующим поражением артерий нижних конечностей выявлено выраженное снижение показатели. У этих пациентов имели место наиболее низкие значения всех показателей микроциркуляции: исходный кровоток снизился на 25 %, тест постокклюзионной гиперемии на 32,8 %, проба Вальсальва на 27,3 %. При изучении показателей микроциркуляции в зависимости от вида проведенной операции, выявлено, что самые низкие значения регистрировались у больных, оперированных в условиях искусственного кровообращения. У больных, оперированных в условиях ИК, отмечалось статистически значимое снижение микроциркуляторного русла: снижение уровня исходного кровотока на 42,5 %, показателя теста постокклюзионной гиперемии и пробы Вальсальва на 41,3 % и 33,8 %, соответственно, в сравнении с дооперационными данными. У пациентов, оперированных на работающем сердце, регистрировались наиболее высокие значения показатели микроциркуляции в послеоперационном периоде. Уровень исходного кровотока составил  $1,38 \pm 0,12$  TPU, тест постокклюзионной гиперемии —  $2,31 \pm 0,18$  TPU, проба Вальсальва была равна  $1,06 \pm 0,08$  TPU, а позиционная проба —  $2,41 \pm 0,21$  TPU.

Таким образом, мы обнаружили, что операции на сердце могут привести к прогрессированию ишемии нижних конечностей у пациентов с выраженной перемежающейся хромотой в раннем послеоперационном периоде. Наши результаты показывают, что операции на работающем сердце могут привести к более низкой частоте прогрессирования симптомов ишемии нижних конечностей (8,2 %) по сравнению с хирургическими вмешательствами в условиях ИК (23,4 %). Выявлено что наиболее часто прогрессирование ишемии конечностей возникало при наличии 2Б степени хронической ишемии, и высокой продолжительности искусственного кровообращения более 100 минут. Наиболее выраженное снижение коллатерального кровообращения и микроциркуляции регистрируется после проведения коронарного шунтирования в группе больных с сопутствующим поражением артерий нижних конечностей. Наиболее низкие показатели выявлены при проведении коронарного шунтирования в условиях ИК, с IIБ степенью ишемии нижних конечностей. К 10 дню наблюдения регистрируется существенное улучшение показателей микроциркуляции с возвращением к дооперационным значениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авалиани В.М. Коронарная хирургия при мультифокальном атеросклерозе/ В.М. Авалиани, И.И. Чернов, А.Н. Шонбин // — М.: Универсум Паблшинг, 2005. — 384 с.
2. Бокерия Л.А., Гудкова Л.Г. Сердечно-сосудистая хирургия. Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения. Москва: НЦССХ им. А.Н. Бакулева, 2014. 226 с.
3. Покровский А.В. Монография: Критическая ишемия нижних конечностей. Инфравагинальное поражение. / Покровский А.В., Казаков Ю.И., Лукин И.Б.// Тверь: Ред издание центр Тверь гос. У-та, 2018. с. 225. ISBN: 978-5-8388-0179-1.
4. Daniel WT 3rd, Kilgo P, Puskas JD, Thourani VH, Lattouf OM, Guyton RA, Halkos ME. Trends in aortic clamp use during coronary artery bypass surgery: effect of aortic clamping strategies on neurologic outcomes. J Thorac Cardiovasc Surg. 2014 Feb;147(2):652-7.
5. Бокерия Л.А., Милюевская Е.Б., Кудзоева З.Ф., Прянишников В.В. Сердечно-сосудистая хирургия — 2019. Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения. М.: НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева МЗ РФ; 2020.
6. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI) / S. Windecker, P. Kolh, F. Alfonso // Eur. Heart J. — 2014. — Vol. 35, № 37. — P. 2541–2619.
7. Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) / W. Wijns, P. Kolh, N. Danchin et al. // Eur Heart J. — 2010. — Vol. 31, № 20. — P. 2501–2555.
8. Акчурин Р.С. 10-летние результаты коронарного шунтирования с микрохирургической техникой / Р.С. Акчурин, А.А. Ширяев, Д.М. Галаяудинов [и др.] // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. — 2016. — Т. 9. — № 2. — С. 4–9.
9. Андреев А.В. Годичные результаты аутоартериального коронарного шунтирования с использованием трансплантата лучевой артерии при диффузном поражении коронарных артерий / А.В. Андреев, А.А. Ширяев, В.П. Васильев [и др.] // Кардиологический вестник. — 2023. — Т. 18. — № 2. — С. 50–56.
10. 2011 ACCF/AHA Guideline for Coronary Artery Bypass Graft Surgery: Executive Summary / L. D. Hillis, P. K. Smith, J. L. Anderson et al. // J. Am. Coll. Cardiol. — 2011. — Vol. 58. — P. 2584–2614.
11. Бокерия Л.А. Кардиальные осложнения у больных с атеросклеротическими сочетанными поражениями брахиоцефальных артерий и брюшной аорты / Л.А. Бокерия, А.А. Спиридонов, Ю.И. Бузиашвили и др. // Сердечно-сосудистые заболевания: бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. — 2005. — Т. 6, №1. — С. 44–53.
12. Авалиани В.М. Особенности аортокоронарного шунтирования у больных системным атеросклерозом / В.М. Авалиани — Архангельск, 2007. — 224 с.
13. Sevak U. Impact of cardiac surgery with cardiopulmonary bypass on symptom progression in the early postoperative period in patients with peripheral arterial disease. /U. Sevak, H. Istar, M.V. Bahadir // Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci. 2022. — Jul;26(14):5072–5080.

© Казаков Андрей Юрьевич (andre\_kazakov@mail.ru); Соколова Наталья Юрьевна (nsokolova1711@gmail.com); Керимханов Роман Олегович (romankerimkhanov@mail.ru); Челебов Эльмар Эфендиевич (Cheleb.elmar1995@mail.ru); Меджидов Сабир Рустамович (medzhidovsibir81@gmail.com); Махаури Анзор Дикалович (mag2084@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ НАРУШЕНИЙ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ПАЦИЕНТОВ С КАРДИО-РЕСПИРАТОРНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ И НАЛИЧИЕМ СИНДРОМА ОБСТРУКТИВНОГО АПНОЭ СНА

## ANALYSIS OF CARDIAC ARRHYTHMIA IN PATIENTS WITH CARDIORESPIRATORY PATHOLOGY AND THE PRESENCE OF OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA (OSA)

**D. Kalashnik  
E. Filipchenko  
I. Kovrigina**

**Summary.** The aim of the study was to investigate the nature of cardiac arrhythmias in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and concomitant coronary heart disease (CHD) in the presence of obstructive sleep apnea (OSA).

A total of 132 patients with COPD and coronary heart disease were screened to detect OSA. The study randomized 88 patients with COPD and coronary heart disease and OSA: 62 men and 26 women, with an average age of (63.21±8.46) years. The following cardiac arrhythmias were detected during the study: ventricular and supraventricular extrasystoles, paroxysms of supraventricular tachycardia, paroxysms of atrial fibrillation, atrioventricular block of the first and second degrees, sinoatrial block, and atrial fibrillation. In patients with severe OSA (apnea/hypopnea index > 30), more pronounced cardiac arrhythmias were detected in the form of ventricular extrasystoles, atrial fibrillations, and paroxysms of supraventricular tachycardia. An increase in the number of ventricular extrasystoles was detected even in moderate OSA ( $p < 0.05$ ). It was found that the apnea/hypopnea index can be affected by changes in blood saturation, the presence of paired supraventricular extrasystole, changes in FEV1/FVC, smoking, and the presence of pulmonary hypertension ( $p = 0.01$ ).

**Keywords:** cardiac arrhythmia, coronary heart disease, chronic obstructive pulmonary disease, obstructive sleep apnea.

**Калашник Дарья Николаевна**

канд. мед. наук, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» МЗ РФ (г. Краснодар)  
darunika@rambler.ru

**Филипченко Елена Мирославовна**

канд. мед. наук, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» МЗ РФ (г. Краснодар)  
:emf61@mail.ru

**Ковригина Ирина Валерьевна**

канд. мед. наук, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» МЗ РФ (г. Краснодар)  
kovriginairina2010@mail.ru

**Аннотация.** Цель исследования — изучить характер нарушений сердечного ритма у пациентов с ХОБЛ и сопутствующей ИБС при наличии синдрома обструктивного апноэ сна (СОАС).

По теме исследования скринировано 132 больных с ХОБЛ в сочетании с ИБС для выявления СОАС. В исследовании рандомизировано 88 больных ХОБЛ в сочетании с ИБС и наличием СОАС: 62 мужчины и 26 женщин, средний возраст которых составил (63,21±8,46) года. В ходе исследования были обнаружены следующие нарушения ритма: желудочковые и суправентрикулярные экстрасистолы, пароксизмы суправентрикулярной тахикардии, пароксизмы фибрилляции предсердий, атриовентрикулярная блокада I и II степени, синоатриальная блокада и фибрилляция предсердий. У пациентов с тяжелым СОАС (индекс апноэ/гипопноэ > 30) выявлены более выраженные нарушения сердечного ритма в виде желудочковых экстрасистол, фибрилляции предсердий и пароксизмов суправентрикулярной тахикардии. Выявлено увеличение количества желудочковых экстрасистол уже при средней степени тяжести СОАС ( $p < 0,05$ ). Установлено, что на индекс апноэ/гипопноэ может влиять изменение сатурации крови, наличие спаренной суправентрикулярной экстрасистолии, изменение ОФВ1/ФЖЕЛ, курение, наличие легочной гипертензии ( $p = 0,01$ ).

**Ключевые слова:** хроническая обструктивная болезнь легких, ишемическая болезнь сердца, синдром обструктивного апноэ сна, нарушения ритма.

В современной литературе значительное внимание уделяется изучению нарушений ритма сердца при ХОБЛ, их влиянию на течение и прогноз основного заболевания. Доказано, что больные, страдающие ХОБЛ в сочетании с сердечно-сосудистыми заболеваниями, вызывающими нарушения ритма, представляют группу высокого риска внезапной смерти [1, 2]. Однако характер возникновения, течения, а следовательно, и борьбы с такого рода патологией требует более детального изучения. В мировой литературе приводятся результаты часто различающихся исследований в связи с очень большим разнообразием клинических групп пациентов:

по возрасту, стадии заболевания, продолжительности заболевания, степени клинических проявлений, а главное, наличия и особенностей течения сопутствующих заболеваний и наличия осложнений.

В основе возникновения нарушений ритма сердца у больных с ХОБЛ лежит нарушение вентиляционной функции легких, вызывающее гипоксемию, как следствие — повышение потребности органов и систем в кислороде. Важное значение имеют такие патогенетические механизмы, как ремоделирование правых отделов сердца вследствие легочной гипертензии, систем-

ное воспаление, гиперкапния и окислительный стресс при ХОБЛ, приводящие к ускорению атерогенеза и провоцирующие возникновение аритмий. Также доказано, что ряд лекарственных средств для лечения сердечной патологии могут приводить к ухудшению течения ХОБЛ, а бронхолитики и теофиллины — к возникновению аритмий [3].

Особый интерес представляют работы по изучению variability ритма сердца у больных ХОБЛ в сочетании с ИБС и наличием синдрома обструктивного апноэ сна (СОАС). На сегодняшний день данный симптомокомплекс является наиболее часто встречающимся нарушением дыхания во время сна, оставаясь до сих пор не распознанным у больных практически в 80 % случаев и являясь при этом одним из основных факторов как общей, так и кардиальной летальности. Вероятность развития у больного легочно-кардиальной патологии при наличии синдрома обструктивного апноэ сна возрастает почти в 5 раз [4,5].

Патологические остановки дыхания, возникающие при СОАС, являются причиной развития нарушения ритма сердца. Характерной особенностью таких аритмий является их высокая частота в ночное время, особенно в периоды апноэ, и полное или почти полное отсутствие днем.

Логично, что у пациентов с сопутствующим ХОБЛ, имеющих постоянную форму гипоксемии, прогностическое течение любых видов аритмий, вызванных СОАС, ухудшается с геометрической прогрессией.

Сегодня существуют международные руководства по оказанию помощи больным ХОБЛ, больным ИБС и даже больным СОАС [6, 7, 8, 9]. Однако все еще отсутствует унифицированный протокол оказания помощи больным с коморбидной патологией. В последних клинических рекомендациях по фибрилляции (ФП) и трепетанию (ТП) предсердий рекомендуется проводить скрининг на наличие синдрома обструктивного апноэ во сне [9].

Все это делает особенно актуальным изучение патогенетических процессов у больных с кардио-респираторной патологией и наличием СОАС и разработку унифицированного подхода к оказанию таким пациентам эффективной медицинской помощи.

В связи с этим, первым этапом нашего исследования явилось выявить наличие нарушений сердечного ритма у пациентов с кардио-респираторной патологией и СОАС.

*Цель исследования:* провести анализ нарушений сердечного ритма у пациентов с ХОБЛ в сочетании с ИБС при наличии СОАС.

## Материалы и методы

По теме исследования обследовано 132 больных ХОБЛ в сочетании с ИБС для выявления синдрома обструктивного апноэ сна. В исследование было рандомизировано 88 пациентов с кардио-респираторной патологией и наличием СОАС: 62 мужчин и 26 женщин, средний возраст которых составил (63,21±8,46) года.

*Критерии включения:* добровольное информированное согласие больного на включение в исследование; пациенты, состоящие на диспансерном учете с диагнозами ХОБЛ и ИБС, стенокардия напряжения, подтвержденные клинико-инструментальными методами в соответствии с актуальными клиническими рекомендациями МЗ РФ. Больные ХОБЛ относились к категории В (по классификации интегральной оценки ХОБЛ): с легкой и средней тяжестью бронхиальной обструкции (ОФВ1 <80 % и >50 % от должного значения) и с низким риском обострений (менее 2-х раз в год).

*Критерии исключения:* документальные свидетельства о наличии тяжелого течения астмы/ХОБЛ, обострения ХОБЛ в предшествующие 3 недели до включения в протокол, а также диагнозы — стабильная стенокардия (ФК 4), сердечная недостаточность II–III стадий и ФК 3–4 (по NYHA), артериальная гипертензия III стадии и 3-й степени, врожденные и приобретенные пороки сердца, нестабильная стенокардия или инфаркта миокарда за 30 суток до включения в исследование, гормональные нарушения функции щитовидной железы, онкологические заболевания

Оценка внешнего дыхания проводилась с использованием спирометра MicroLab (CareFusion), ML3500 (Великобритания).

Одышку, как один из основных клинических признаков ХОБЛ, оценивали с помощью двух шкал: шкалы Борга и MMRC. Тест с 6-минутной ходьбой проводили в соответствии со стандартным протоколом.

Для диагностики синдрома обструктивного апноэ сна и аритмии применялся кардио-респираторный полифункциональный холтер-монитор (КТ-07— АД— 3/12 P).

Обработка статистических данных осуществлялась на ПК с применением программ «Statistica 6.0 for Windows (StatSoft Inc.)». Для каждой из непрерывных величин в зависимости от типа их распределения определяли либо среднее (M) и стандартное отклонение (σ), либо медиану и квартили распределения. При сравнении групп больных по основным показателям (в зависимости от типа распределения рассматриваемых показателей) использовали нечетный t-критерий Стьюдента или U — критерий Манна — Уитни. Для исследования

взаимосвязи переменных применяли способы регрессионного и корреляционного анализа. Если не удалось установить нормальность распределения хотя бы одного из сравниваемых показателей, то использовали коэффициент корреляции Спирмена.

### Результаты и обсуждение

В ходе исследования были выявлены следующие нарушения ритма: желудочковые экстрасистолы — у 37 больных, пароксизмы желудочковой тахикардии не были выявлены, суправентрикулярные экстрасистолы — у 26 больных, пароксизмы суправентрикулярной тахикардии — у 4 больных, пароксизмы фибрилляции предсердий у 1 пациента, АВ блокада 1 степени — у 2 больных, атриовентрикулярная блокада II степени — у 3 больных, синоатриальная блокада у 2 больных, фибрилляция предсердий была обнаружена у 13 больных ХОБЛ в сочетании с ИБС и наличием СОАС.

Согласно рекомендациям Российского общества сомнологов и Американской Академии медицины сна по степеням тяжести СОАС в зависимости от показателей индекса апноэ/гипопное сна (ИАГ) (обнаруженный при сомнографии) распределяют на 3 ступени:

Легкая — 5 и более, но менее 15;  
Средняя — 15 и более, но менее 30;  
Тяжелая — 30 и более.

В зависимости от степени СОАС были выделены 3 группы сравнения:

1 группа (легкая степень СОАС) — 38 пациентов (ИАГ составлял  $(M \pm \sigma)$  —  $(8,45 \pm 3,44)$ /час;  
2 группа (средняя степень СОАС) — 21 пациент ((ИАГ составлял  $(M \pm \sigma)$  —  $(19,60 \pm 4,09)$ /час;  
3 группа (тяжелая степень СОАС) — 29 пациентов (ИАГ составлял  $(M \pm \sigma)$  —  $(43,00 \pm 13,87)$ /час.

Степень тяжести нарушений сердечного ритма изучалась по отношению к степени СОАС. Было выявлено, что у пациентов с более тяжелым СОАС наблюдаются более серьезные нарушения сердечного ритма.

В 1 и 2 группах пациентов было выявлено, что преобладают пациенты с ИБС I-II ФК. При анализе пациентов 3 группы (ИАГ 30 и более) было выявлено больше пациентов II-III ФК ИБС.

Согласно анализу литературных источников, оценка нарушений ритма обычно проводилась в зависимости от степени тяжести ХОБЛ.

Как известно, при легком течении ХОБЛ преобладают, в основном, суправентрикулярные нарушения ритма: предсердная экстрасистолия, синусовая тахикардия,

суправентрикулярная пароксизмальная тахикардия. Желудочковые аритмии наблюдаются чаще у пациентов с ХОБЛ и хроническим легочным сердцем, при этом в большинстве случаев наблюдаются аритмии высоких градаций (эпизоды желудочковой тахикардии, частые, групповые, политопные желудочковые экстрасистолы). Такие аритмии в значительной степени влияют на прогноз, так как потенциально опасны относительно развития фибрилляции желудочков [10, 11].

Кроме того, выявлена закономерность между тяжестью течения ХОБЛ и частотой возникновения желудочковых аритмий, а также их количеством [11, 12]. Доказано, что ухудшение бронхиальной проходимости и связанная с ним гипоксия способствуют нарушению реполяризации — удлинению и дисперсии интервала QT, что, в свою очередь, повышает риск желудочковых аритмий и внезапной смерти у таких пациентов [13]. Кроме того, удлинение QT могут вызывать лекарственные препараты (амиодарон), применяемые для лечения персистирующей фибрилляции предсердий [14, 15].

В нашем исследовании мы решили оценить нарушения ритма в зависимости от тяжести СОАС.

При проведении анализа нарушений сердечного ритма у пациентов 1, 2, 3 групп были выявлены следующие показатели: в первой группе: желудочковые экстрасистолы — у 20 пациентов, суправентрикулярные экстрасистолы — у 14 пациентов, фибрилляция предсердий — у 1 пациента. Во второй группе — желудочковые экстрасистолы — у 13 пациентов, суправентрикулярные экстрасистолы — у 16 пациентов, пароксизмы суправентрикулярной тахикардии у 2 пациентов, пароксизмы мерцания предсердий — у 1 пациента, атриовентрикулярная блокада у 2 пациентов, атриовентрикулярная блокада II степени — у 1 пациента, синоатриальная блокада у 1 пациента, фибрилляция предсердий у 6 пациентов; В третьей группе — желудочковые экстрасистолы обнаружены у 24 пациентов, суправентрикулярные экстрасистолы — у 26 пациентов, пароксизмы суправентрикулярной тахикардии у 2 пациентов, пароксизмы мерцания предсердий не были обнаружены в данной группе, атриовентрикулярная блокада I степени не обнаружена у одного пациента данной группы, атриовентрикулярная блокада II степени имела место у 2 пациентов, синоатриальная блокада у 1 пациента, фибрилляция предсердий обнаружена у 5 пациентов (табл. 1).

При сравнении групп между собой (группы 1, 2, 3) было выявлено увеличение среднего количества желудочковых экстрасистол (ЖЭС) при более тяжелой степени СОАС. Известно, что пациенты с СОАС предрасположены к желудочковым аритмиям. Считается, что это связано с дисбалансом симпатического и парасимпатического тонуса [17]. Пациенты с СОАС чаще умирают

Таблица 1.  
Распределение нарушений сердечного ритма у больных ХОБЛ в сочетании с ИБС и наличием СОАС по группам (в зависимости от тяжести СОАС)

Виды нарушений ритма и проводимости	1 группа, n пациентов (38)	2 группа, n пациентов (21)	3 группа, n пациентов (29)
Желудочковые экстрасистолы	20	13	24
Пароксизмы желудочковой тахикардии	0	0	0
Суправентрикулярные экстрасистолы	14	16	26
Пароксизм суправентрикулярной тахикардии	0	2	2
Пароксизм фибрилляции предсердий	0	1	0
АВ блокада I степени	0	2	0
АВ блокада II степени	0	1	2
Синоатриальная блокада	0	1	1
Фибрилляция предсердий	1	6	5

от внезапной остановки сердца ночью, что резко контрастирует с общей популяцией, у которой пик смертности приходится на период с полуночи до 6 утра [18], что указывает на роль СОАС в развитии желудочковых аритмий.

Так, в нашем исследовании, в группе 1 среднее количество желудочковых экстрасистол ( $M \pm SD$ ) составляло ( $77,58 \pm 23,95$ ) ЭС/сут, в группе 2 — ( $160,76 \pm 45,12$ ) ЭС/сут ( $p < 0,05$ ), в группе 3 — ( $158,23 \pm 42,41$ ) ЭС/сут. Относительно наджелудочковых экстрасистол (НЭС) были получены следующие данные: среднее количество наджелудочковых экстрасистол ( $M \pm SD$ ) в группе 1 — ( $144,44 \pm 65,16$ ) ЭС/сут, в группе 2 — ( $53,42 \pm 33,52$ ) ЭС/сут, в группе 3 — ( $228,17 \pm 92,17$ ) ЭС/сутки ( $p < 0,05$ ) (табл. 2, 3, 4). Достоверной взаимосвязи между степенью тяжести СОАС и такими клинико-функциональными показателями, как возраст, ОФВ1, ОФВ1/ФЖЕЛ, ЧСС максимальная в сутки, ЧСС средняя в сутки, ЧСС минимальная в сутки обнаружено не было ( $p > 0,05$ ).

Выявлена слабая корреляция с такими показателями, как продолжительность ХОБЛ, продолжительность ИБС, тест с 6-минутной ходьбой, шкала Борга после теста с 6-минутной ходьбой, шкалой MMRC. Достоверная корреляция была обнаружена между следующими па-

раметрами: ИМТ, шкала Борга до теста, количество желудочковых и наджелудочковых экстрасистол в сутки с вероятностью погрешности ( $p < 0,05$ ).

Таблица 2.  
Изменения клинико-функциональных показателей в группах сравнения 1 и 2 в зависимости от тяжести СОАС

	Группа 1, ( $M \pm \sigma$ )	Группа 2, ( $M \pm \sigma$ )	p
Возраст, лет	$63,79 \pm 8,56$	$59,0 \pm 9,83$	0,24
Продолжительность ХОБЛ, лет	$6,49 \pm 5,44$	$7,00 \pm 3,53$	0,07
Продолжительность ИБС, лет	$7,88 \pm 5,01$	$7,50 \pm 3,71$	0,05
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	$29,93 \pm 4,72$	$31,07 \pm 4,15$	0,02
ОФВ1, %	$58,19 \pm 15,14$	$49,00 \pm 13,87$	0,71
ОФВ1/ФЖЕЛ, %	$58,44 \pm 13,18$	$55,00 \pm 10,97$	0,18
Тест с 6-минутной ходьбой, м	$348,66 \pm 63,44$	$325,00 \pm 63,0$	0,05
Шкала Борга до теста, балл	$2,44 \pm 0,98$	$3,00 \pm 1,34$	0,03
Шкала Борга после теста, балл	$5,47 \pm 1,32$	$6,00 \pm 1,25$	0,06
Шкала MMRC, балл	$2 \pm 0,51$	$2,00 \pm 0,57$	0,07
ЧСС макс., уд/мин	$114,97 \pm 17,53$	$112,0 \pm 13,78$	0,41
ЧСС ср., уд/мин	$74,44 \pm 8,42$	$73,00 \pm 9,15$	0,54
ЧСС мин., уд/мин	$54,28 \pm 8,1$	$50,0 \pm 9,23$	0,52
ЖЭС, кол-во/сутки	$77,58 \pm 23,95$	$160,76 \pm 45,12$	0,03
Суправентрикулярная ЭС, кол-во/сутки	$144,44 \pm 65,16$	$53,42 \pm 33,52$	0,04

Изучалась также связь между массой тела пациентов (ИМТ) и степенью тяжести нарушений сердечного ритма. Была выделена медиана ИМТ ( $M \pm \sigma$ ) ( $31,38 \pm 5,25$ ) кг/м<sup>2</sup>. По значению индекса массы тела все пациенты были распределены на 2 большие группы — имевшие ИМТ менее 31,38 (первая группа) и пациенты с ИМТ более 31,38 (вторая группа). Выявлено, что пациенты с ИМТ более 31,38 имели более тяжелую степень СОАС (по данным сомнографии, ИАГ ( $M \pm \sigma$ ) в первой группе ( $19,45 \pm 15,90/ч$ ); во второй группе ИАГ ( $M \pm \sigma$ ) составлял ( $28,67 \pm 20,50/ч$ ) ( $p = 0,02$ ).

Также в группе пациентов с более высоким ИМТ, наблюдались более значимые нарушения ритма: среднее количество ЖЭС в сутки в группе с ИМТ составляло ( $M \pm \sigma$ ) ( $171,46 \pm 39,1/сут$ ); суправентрикулярных ЭС — ( $132,18 \pm 28,1/сут$ ); а во второй группе ( $220,09 \pm 37,25/сут$ ) и ( $161,14 \pm 42,65/сут$ ) соответственно ( $p < 0,05$ ) (табл. 5, рис. 1).

Также было установлено, что на индекс апноэ/гипопное может влиять изменение сатурации крови, наличие

Таблица 3.

Изменения клинико-функциональных показателей в группах уравнения 1 и 3 в зависимости от тяжести СОАС

	Группа 1, (M±σ)	Группа 3, (M±σ)	p
Возраст, лет	63,79±8,56	64,14±7,41	0,86
Продолжительность ХОБЛ, лет	6,49±5,44	7,38±4,89	0,49
Продолжительность ИБС, лет	7,88±5,01	8,52±5,18	0,05
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	29,93±4,72	34,35±5,64	0,01
ОФВ <sup>1</sup> , %	58,19±15,14	54,28±15,08	0,59
ОФВ <sup>1</sup> /ФЖЕЛ, %	58,44±13,18	57,07±14,68	0,70
Тест с 6-минутной ходьбой, м	348,66±63,44	338,1±58,81	0,04
Шкала Борга до теста, балл	2,44±0,98	2,76±1,48	0,31
Шкала Борга после теста, балл	5,47±1,32	5,66±1,45	0,60
Шкала MMRC, балл	2±0,51	2,1±0,77	0,53
ЧСС макс., уд/мин	114,97±17,53	112,41±18,34	0,76
ЧСС ср., уд/мин	74,44±8,42	74,55±9,28	0,41
ЧСС мин., уд/мин	54,28±8,1	54,07±8,64	0,54
ЖЭС, кол-во/сутки	77,58±23,95	158,23±42,41	0,04
Суправентрикулярная ЭС, кол-во/сутки	144,44±65,16	228,17±92,17	0,02

спаренной суправентрикулярной экстрасистолии, изменение ОФВ<sup>1</sup>/ФЖЭЛ, курение, наличие легочной гипертензии (p=0.01).

В то же время, роль СОАС, как независимого фактора риска развития лёгочной гипертензии в дневное время не изучена. Тяжёлое течение СОАС часто вызывает лёгочную гипертензию в дневное время при отсутствии сопутствующих сердечно-лёгочных и сосудистых заболеваний [19].

### Выводы

1. У больных ХОБЛ в сочетании с ИБС и наличием СОАС чаще встречаются нарушения ритма.
2. У пациентов с тяжёлым СОАС (индекс апноэ/гипопное 30 и более) выявлены более выраженные нарушения сердечного ритма в виде желудочковых экстрасистол, фибрилляций предсердий и пароксизмов суправентрикулярной тахикардии (p<0,05).
3. Установлено, что на индекс апноэ/гипопное может влиять изменение сатурации крови, наличие спаренной суправентрикулярной экстрасисто-

Таблица 4.

Изменения клинико-функциональных показателей в группах уравнения 2 и 3 в зависимости от тяжести СОАС

	Группа 2, M±σ	Группа 3, M±σ	p
Возраст, лет	59,0±9,83	64,14±7,41	0,05
Продолжительность ХОБЛ, лет	7,00±3,53	7,38±4,89	0,09
Продолжительность ИБС, лет	7,50±3,71	8,52±5,18	0,06
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	31,07±4,15	34,35±5,64	0,01
ОФВ <sup>1</sup> , %	49,00±13,87	54,28±15,08	0,34
ОФВ <sup>1</sup> /ФЖЕЛ, %	55,00±10,97	57,07±14,68	0,73
Тест с 6-минутной ходьбой, м	325,00±63,0	338,1±58,81	0,06
Шкала Борга до теста с 6-минутной ходьбой, балл	3,00±1,34	2,76±1,48	0,04
Шкала Борга после теста с 6-минутной ходьбой, балл	6,00±1,25	5,66±1,45	0,05
Шкала MMRC, балл	2,00±0,57	2,1±0,77	0,07
ЧСС макс., уд/мин	112,0±13,78	112,41±18,34	0,10
ЧСС ср., уд/мин	73,00±9,15	74,55±9,28	0,07
ЧСС мин., уд/мин	50,0±9,23	54,07±8,64	0,42
ЖЭС, кол-во/сутки	160,76±45,12	158,23±42,41	0,03
Суправентрикулярная ЭС, кол-во/сутки	53,42±33,52	228,17±92,17	0,03

Таблица 5.

Сравнение клинико-функциональных параметров в зависимости от массы тела пациентов

	Группа 1 (ИМТ<31,38) M±σ	Группа 2 (ИМТ>31,38) M±σ	p
Возраст, лет	64,05±8,94	62,58±8,12	0,42
Длительность ХОБЛ, лет	7,45±4,85	6,49±4,79	0,35
Длительность ИБС, лет	7,17±4,49	8,85±4,98	0,11
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	27,51±2,4	35,89±3,76	0,00
ИАГ/час.	19,45±15,90	28,67±20,50	0,02
ЧСС макс, уд/мин	112,05±16,53	115,19±17,22	0,09
ЧСС ср., уд/мин	73,08±10,01	74,81±7,67	0,38
ЧСС мин., уд/мин	53,47±7,62	54,19±9,28	0,70
ЖЭС, кол-во в сутки	171,46±39,1	220,09±37,25	0,04
Суправентрикулярная ЭС, кол-во в сутки	132,18±28,1	161,14±42,65	0,04

**Сравнение клиничко-функциональных параметров в зависимости от индекса массы тела пациентов (ИМТ)**

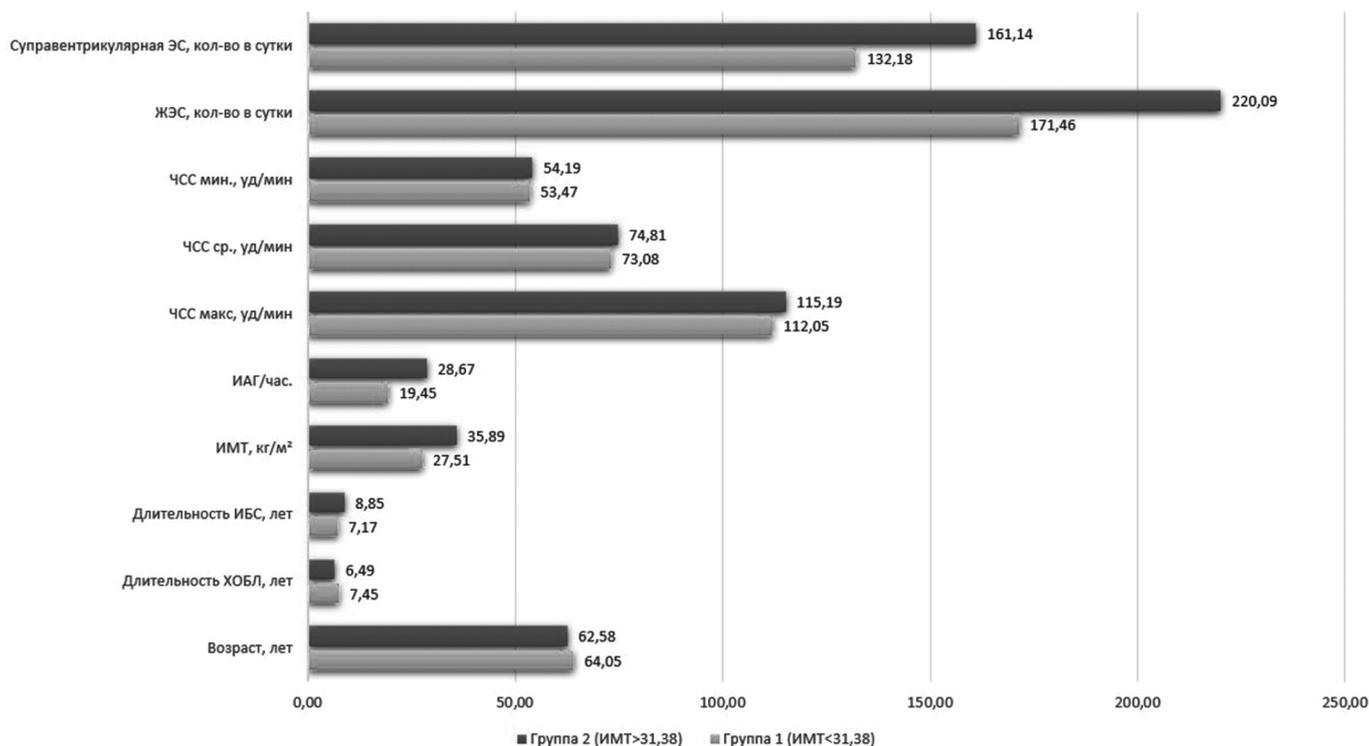


Рис. 1. Сравнение клиничко-функциональных параметров в зависимости от ИМТ пациентов

лии, изменение ОФВ1/ФЖЭЛ, курение, наличие легочной гипертензии (p=0.01).

4. Установлена достоверная корреляция между ИМТ, шкалой Борга до теста с 6-минутной ходь-

бой, количеством желудочковых и суправентрикулярных экстрасистол в сутки (p<0,05).

ЛИТЕРАТУРА

1. Чучалин А.Г., Авдеев С.Н., Айсанов З.Р., Белевский А.С., Лещенко И.В., Овчаренко С.И., Шмелев Е.И. Хроническая обструктивная болезнь легких: федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению// Пульмонология. — 2022. — № 32(3). — С.356–392. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2022-32-3-356-392>
2. Национальные рекомендации по определению риска и профилактике внезапной сердечной смерти (2-е издание) — М.: ИД «Медпрактика-М», 2018, 246 с.
3. Овчаренко С.И. Сердечно-сосудистая патология у больных хронической обструктивной болезнью легких: как мы лечим?//РМЖ. — 2018. — №10(1). — С.36–39.
4. Шьям С., Сушилкумар С.Г., Рохас-Марте Г., Демир С., Саксена А., Обиагву К. и др. Электрокардиографические ассоциации, наблюдаемые при обструктивном апноэ во сне// Sleep Dis. — 2019:9704785–9704785. doi: 10.1155/2019/9704785.
5. Чжан Л., Хоу Й., По С.С. Синдром обструктивного апноэ во сне и фибрилляция предсердий// Обзор аритмологии и электрофизиологии. — 2015 май. — № 4(1). — С. 14–18. doi: 10.15420/aer.2015.4.1.14. <https://aasm.org/clinical-resources/practice-standards/practiceguidelines/>.
6. Kapur VK, Auckley DH, Chowdhuri S, et al. Clinical practice guideline for diagnostic testing for adult obstructive sleep apnoea: an American Academy of Sleep Medicine clinical practice guideline// J Clin Sleep Med 2017. — Vol.13(3). — P.479–504. DOI: 10.5664/jcsm.6506.
7. Диагностика и лечение синдрома обструктивного апноэ сна у взрослых Рекомендации Российского общества сомнологов (РОС) Утверждено конференцией Российского общества сомнологов 16.02.2018 г.
8. Рубрификатор клинических рекомендаций МЗ РФ : [сайт]. — URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/156\\_1?ysclid=m0urrjkvay70765876](https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/156_1?ysclid=m0urrjkvay70765876).
9. Клиничко-функциональные особенности течения хронической обструктивной болезни лёгких с нарушением ритма сердца Расулов У. Р., Джамолова Р.Д., Ниязов Ф.И., Мирзоев Х.Ш. // Вестник Педагогического университета. Клиническая медицина. — 2015. — С 73–77.
10. Maspero C, Giannini L, Galbiati G, Rosso G, Farronato G. Obstructive sleep apnea syndrome: a literature review //Minerva Stomatol. — 2015 Apr. — Vol.64(2). — P. 97–109.
11. Филатова Ю.И. Особенности распространенности и структура аритмий у больных хронической обструктивной болезнью легких/ Ю.И. Филатова, М.В. Перфильева, А.В. Черной.-Текст: непосредственный// Молодой ученый. — 2014. — №5 (64). — С.160–164.— URL:<https://moluch.ru/archive/64/10421/> (дата обращения : 12.01.2025).

12. Sievi N.A., Clarenbach C.F., Camen G., Rossi V.A., van Gestel A.J., Kohler M. High prevalence of altered cardiac repolarization in patients with COPD // BMC Pulm Med. — 2014. — № 14 (1). — P. 55.
13. Шугушев Х.Х., Гурижева М.В., Василенко В.М. Влияние бронхолитической терапии на желудочковые нарушения ритма у больных хронической обструктивной болезнью легких. — 2009. — № 5. — С. 63–66.
14. Крахмалова Е.О., Калашник Д.Н., Антонова И.В., Колесникова Е.Н. Нарушение ритма сердца у пациентов с хроническим обструктивным заболеванием легких // Острые и неотложные состояния в практике врача. — 2015. — № 1. — С. 32–36
15. Национальные российские рекомендации по применению методики холтеровского мониторирования в клинической практике Руководство; Макаров Л.М., Комолятова В.Н., Куприянова О.О. и соавт. Рос. кард. жур. 2014; № 2: 6–71. DOI:10.15829/1560-4071-2014-2-6-71
16. Martí-Almor J, Jiménez-López J, Casteigt B, Conejos J, Valles E, Farré N, Flor MF. Obstructive Sleep Apnea Syndrome as a Trigger of Cardiac Arrhythmias. Curr Cardiol Rep. 2021;23:20. doi: 10.1007/s11886-021-01445-y
17. Gami AS, Howard DE, Olson EJ, Somers VK. Day-Night Pattern of Sudden Death in Obstructive Sleep Apnea. N Engl J Med. 2005;352:1206–1214. doi: 10.1056/NEJMoa041832.
18. Anna Abbasi et al. Sleep Sci.— 2021 Apr-Jun. — Vol.14(2). — P.142–154. doi: 10.5935/1984-0063.20200056

---

© Калашник Дарья Николаевна (darunika@gambler.ru); Филипченко Елена Мирославовна (emf61@mail.ru);  
Ковригина Ирина Валерьевна (kovriginairina2010@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ РОДОВ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОГРАММ ПЕРИНАТАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

### FEATURES OF THE COURSE OF CHILDBIRTH AFTER PERINATAL TRAINING PROGRAMS

**L. Keshchyan  
N. Lyalichkina**

*Summary.* The article discusses the issues of childbirth in patients with various medical, socio-psychological programs of preparation for childbirth. It has been shown that the family-oriented perinatal training program «Conscious Motherhood» contributes to an increase in the number of partner births, a decrease in the frequency of labor anomalies, the frequency of cesarean section and hospitalization of newborns in the neonatal intensive care unit. In the groups undergoing prenatal training according to the author's program, patients with a scar on the uterus more often chose delivery through the natural birth canal.

*Keywords:* pregnancy, complications of childbirth, cesarean section, Apgar score, perinatal training program «Conscious motherhood», wives of participants in a special military operation.

**Кещьян Людмила Викторовна**

кандидат медицинских наук, главный врач,  
Государственное бюджетное учреждение  
здравоохранения Московской области  
«Наро-Фоминский перинатальный центр», Федеральное  
государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Российский  
национальный исследовательский медицинский  
университет имени Н.И. Пирогова» Министерства  
здравоохранения Российской Федерации  
mz\_nfpc\_info@mosreg.ru

**Ляличкина Наталья Александровна**

доктор медицинских наук, руководитель симуляционно-  
тренингового центра, Государственное бюджетное  
учреждение здравоохранения Московской области  
«Наро-Фоминский перинатальный центр»  
Cord-an@yandex.ru

*Аннотация.* В статье обсуждаются вопросы течений родов у пациенток с различными медико-социально-психологическими программами подготовки к родам. Показано, что семейно-ориентированная программа перинатальной подготовки «Осознанное материнство» способствует увеличению числа партнерских родов, уменьшению частоты аномалий родовой деятельности, частоты кесарева сечения и госпитализации новорожденных в отделение интенсивной терапии новорожденных. В группах, проходивших дородовую подготовку по авторской программе, пациентки с рубцом на матке чаще выбирали родоразрешение через естественные родовые пути.

*Ключевые слова:* беременность, осложнения родов, кесарево сечение, оценка по шкале Апгар, программа перинатальной подготовки «Осознанное материнство», жены участников специальной военной операции.

#### Актуальность

**Б**еременность, роды, появление новорожденного сопровождается изменением состояния здоровья женщины даже при физиологически протекающих процессах и связаны со значимыми психоэмоциональными нагрузками для всех членов семьи, дополнительными материальными затратами, страхами и тревогами за будущее ребенка. S. Grigoriadis et al. (2018) сделали вывод об ассоциации антенатальных психологических расстройств с множественными неблагоприятными перинатальными исходами. Беременность может стать важным периодом для укрепления семейных ценностей и поэтому рекомендуется привлекать партнеров и родственников к дородовому уходу (O'Connell S. et al., 2011).

Проведение занятий по подготовке во время беременности с использованием метода групповых дис-

куссий, особенно с участием членов семьи, является хорошей стратегией снижения тревожности у беременных женщин (Pouryousef S. et al., 2022), что безусловно должно оказывать влияние на особенности течения родового процесса и послеродового периода. О том, что нефармакологические вмешательства, такие как психологическое образование, когнитивно-поведенческая терапия, групповая дискуссия, обучение сверстников и арт-терапия, вероятно, снижают количество женщин, которым делают кесарево сечение, сообщали M.A. O'Connell et al. (2023).

О.В. Гринева с соавт. (2020), проанализировав результаты опроса беременных женщин, проходивших и не проходивших психопрофилактическую подготовку к родам установили, что позитивными эффектами ее являются формирование уверенности в благополучном исходе родов для матери и плода, возникновение более

ответственного и осознанного отношения беременных к предстоящим родам. Оценка течения родового акта после проведения различных программ дородовой подготовки остается актуальной задачей акушеров-гинекологов. Особенно важным, в настоящее время, является роль семейно-ориентированных методик обучения в перинатальный период.

*Цель исследования:* изучить течение родов, состояние новорожденных и послеродовые осложнения у женщин, прошедших различные медико-социально-психологические программы дородовой подготовки.

### Материал и методы исследования

537 беременных женщин в сроке 34 недели были распределены методом простой рандомизации на 2 группы: основную А (273 беременных) и группу сравнения (264 беременных). Дополнительно была выделена основная группа Б — 57 беременных жен участников специальной военной операции. Пациенткам обеих основных групп проводилась дородовая подготовка по программе «Осознанное материнство» с обязательным участием членов семьи, направленной на формирование совместной ответственности за рождение и воспитание ребенка и стимулирование родителей к увеличению количества детей в семье и популяризации многодетности. Пациентки группы сравнения проходили пренатальную подготовку в традиционной школе материнства. По основным социальным и клиническим характеристикам обследованные группы были сопоставимы.

При исследовании оценивались особенности течения родов и состояния новорожденного в зависимости от проведенной программы дородовой подготовки.

Подсчет проводился по методу вариационной статистики в электронных таблицах Excel с подсчетом значений средней арифметической величины выборочной совокупности ( $M$ ) и стандартной ошибки — средней арифметической ( $\pm m$ ). Для оценки критической достоверности различий сравниваемых средних величин применяли  $t$ -критерий Стьюдента (для совокупностей с различной дисперсией выборки). Для сравнения процентных долей в двух группах использовали анализ четырехпольных таблиц сопряженности (критерий  $\chi^2$ ). Различия признавались статистически достоверными при уровне вероятности безошибочного прогноза ( $p < 0,05$ ).

### Результаты исследования

Все проводимые нами медико-социально-психологические мероприятия кроме коррекции психоэмоционального статуса беременных были направлены улучшение исхода родов для матери и плода.

Во всех обследованных группах роды проходили преимущественно через естественные родовые пути: в основной группе А — у 78,8 % пациенток, в основной группе Б — 82,5 %, в группе сравнения — у 70,1 %. Вакуум-экстракция плода проводилась только в двух группах: основной группе А у 1,9 % и в группе сравнения у 3,2 % женщин.

В основной группе А было проведено 21,3 % операций кесарева сечения, в основной группе Б — 17,5 %, в группе сравнения — 29,9 %. Чаще, чем в других группах, экстренное кесарево сечение проводилось в основной группе А: в 53,4 % случаев показанием послужил дистресс плода в родах, в 39,0 % — слабость родовой деятельности/неудачная попытка стимуляции родов, в 7,6 % — диспропорция размеров таза и плода. В основной группе Б экстренное кесарево сечение проводилось только 100 % пациентки, роды которых осложнились дистрессом плода. В группе сравнения — 3,3 % женщин родоразрешены путем экстренного кесарева сечения в связи с ухудшением состояния плода в родах, у 57,2 % показаниями послужили слабость родовой деятельности/неудачная попытка стимуляции родов и у 4 (9,5 %) диспропорция размеров таза и плода. Еще одним показателем, отражающим эффективность дородовой подготовки, является на наш взгляд, число женщин с послеоперационным рубцом на матке, которые были родоразрешены через естественные родовые пути. Наибольшее количество таких пациенток оказалось в группе А «Осознанного материнства» — 70,4 % беременных от всех беременных этой группы с рубцом на матке, что было в 70 % больше ( $\chi^2 = 6,846$ ,  $P = 0,009$ ) по сравнению с основной группой Б, где роды через естественные родовые пути выбрала 1 из 5 женщин с рубцом на матке, и на 70 % больше, относительно группы сравнения ( $\chi^2 = 13,967$ ,  $P < 0,001$ ), в которой только 12 из 57 женщин с рубцом на матке выбрали такой способ родоразрешения.

Анализ продолжительности родов через естественные родовые пути по периодам у участников групп не выявил различий.

Обезболивание родов методом ЭДА выбирали 32,8 % рожениц группы А после программы «Осознанное материнство», 50,9 % жен участников СВО и 62,9 пациенток в группе сравнения. Самая низкая частота предоставления ЭДА была в основной группе А. По сравнению с основной группой Б таких женщин оказалось на 55,2 % меньше ( $\chi^2 = 6,105$ ,  $P = 0,014$ ), с группой сравнения на 91,4 % меньше ( $\chi^2 = 44,002$ ,  $P < 0,001$ ). Однако, как по сроку предоставления ЭДА, так и по ее длительности — изменения происходили на уровне тенденций — наименьшая длительность оказалась в основной группе А, т. к. анестезия проводилась при большем раскрытии маточного зева, а наибольшая длительность ЭДА — отмечалась в группе сравнения.

Чаще всего слабость родовой деятельности была диагностирована в группе сравнения: 17,2 % случаев против 5,9 % в основной группе А, что было в 2,5 раза больше ( $\chi^2=44,002$ ,  $P<0,001$ ). Слабость родовой деятельности не осложняла течение родов у жен участников СВО. Только в группе сравнения для коррекции слабости родовой деятельности 8,0 % пациенток проводилось родоусиление окситоцином. Также в группе сравнения оказалась самая высокая частота быстрых родов — они произошли у 6,4 % рожениц, что было в 5 раза больше, чем в основной группе А ( $\chi^2=8,837$ ,  $P=0,003$ ), однако достоверно не отличалась от показателей основной группы Б, где был зарегистрирован только 1 случай. Мы связываем полученные результаты сопровождением родов партнером.

В основной группе А в 100 % случаев роды, в том числе и путем операции кесарева сечения, были партнерскими. В основной группе Б партнер на родах присутствовал у 78,9 % пациенток, 21,1 % беременных категорически отказались от присутствия на родах близких, тогда как их супруг не мог присутствовать в этот важный момент из-за выполнения воинского долга. В группе сравнения только у 27,7 % женщин — роды были партнерскими несмотря на то, что на занятиях даже в традиционной школе материнства рассказывается о преимуществах данной методики ведения родов. Однако в традиционной школе присутствие члена семьи во время занятий не являлось обязательным.

Частота разрыва промежности оказалась самой высокой в группе жен участников СВО — 15 26,3 % и была в 2,5 раза больше ( $\chi^2=10,731$ ,  $P=0,002$ ), чем в основной группе А и в 1,8 раза больше, чем в группе сравнения ( $\chi^2=4,833$ ,  $P=0,028$ ). Мы связываем наличие этого осложнения с отсутствием половой жизни у жен участников СВО в течение беременности в связи с отсутствием полового партнера.

Задержка частей последа, потребовавшие проведения ручного вхождения в полость матки с одинаковой частотой регистрировалась в основной группе А и в группе сравнения (0,9 % и 1,1 % соответственно) и не была отмечена в основной группе Б. Аналогичные результаты были получены при оценке гематометры и обследованных пациенток, которая развилась только у рожениц основной группы А и группы сравнения (1,8 % и 2,1 % соответственно).

Частота диагностики анемий оказалась одинаковой во всех обследованных группах: в основной группе А 12,8 %, в основной группе Б — 8,8 %, в группе сравнения — 12,4 %.

При оценке массы тела новорожденных достоверные различия были только в группе с массой тела детей от 3500,0 до 3999,0 г: в группе сравнения их было 21,6 %, что оказалось на 44,0 % больше ( $\chi^2_1=3,886$ ,  $P_1=0,049$ ), чем в основной группе А — 41 (15,0 %). Также только в группе сравнения родились дети с массой

тела 2000,0–2499,0 г родились только у 4 (1,5 %) женщин. При анализе антропометрических данных новорожденных отсутствовали значимые различия между группами. В основной группе А масса тела новорожденных детей составляла  $3532,6\pm 341,3$  г, а рост  $51,7\pm 1,5$  см, в группе Б —  $3270,7\pm 328,4$  г и  $51,4\pm 1,8$  см, в группе сравнения —  $3462,0\pm 282,4$  и  $52,2\pm 1,2$  см соответственно.

При оценке новорожденных по шкале Апгар на 1 минуте оказалось, что в основной группе Б отсутствовали дети, рожденные в состоянии асфиксии с оценкой  $\leq 6$  баллов. В основной группе А таких новорожденных было 2 (0,7 %), в 4,5 раза меньше ( $\chi^2_1=4,792$ ,  $P_1=0,029$ ), чем в группе сравнения, где родилось 9 (3,4 %) детей в состоянии асфиксии. С оценкой по шкале Апгар 7 баллов на 1 минуте родилось 46 (18,8 %) детей в основной группе А, 18 (31,6 %) в основной группе Б и 58 (22,0 %) — в группе сравнения. В основной группе А детей с оценкой 7 баллов было на 68,1 % меньше ( $\chi^2=6,544$ ,  $P=0,011$ ), чем в основной группе Б.

Оценка 7 баллов осталась только в основной группе А — 2,6 % случаев и в 4 раза больше в группе сравнения ( $\chi^2=9,618$ ,  $P=0,002$ ) у 8,7 %. Оценку 8 баллов получили 34,0 % ребенка основной группы А, 49,1 % — в основной группе Б, 50,4 % — в группе сравнения. В группе А после программы «Осознанное материнство» таких детей оказалось на 44,4 % меньше ( $\chi^2=4,604$ ,  $P=0,032$ ), чем в основной группе Б и на 48,2 % меньше ( $\chi^2=14,653$ ,  $P_1<0,001$ ), чем в группе сравнения. На 9 баллов были оценены 63,4 % в основной группе А, 50,9 % — в основной группе Б и 39,4 % — в группе сравнения. Этот показатель в основной группе А оказался на 19,7 % больше ( $\chi^2=3,922$ ,  $P=0,048$ ), чем в основной группе Б и на 37,9 % больше ( $\chi^2=30,892$ ,  $P<0,001$ ), чем в группе сравнения. При этом средние значения оценок не имели достоверных различий. В основной группе А на 1 минуте оценка по Апгар составляла  $7,75\pm 0,63$ , в основной группе Б —  $7,88\pm 0,33$ , в группе сравнения —  $7,21\pm 0,42$ . На 5 минуте  $8,54\pm 0,62$ ,  $8,41\pm 0,49$  и  $8,16\pm 0,57$  баллов соответственно.

Важнейший показатель исхода родов — госпитализация детей в отделение реанимации и интенсивной терапии новорожденных (ОРИТН). В основной группе А 2 (0,7 %) детей были госпитализированы в ОРИТН, что в группе сравнения таких детей было 7 (2,7 %). В группе жен участников СВО не было отмечено случаев госпитализации детей в отделение интенсивной терапии.

Таким образом, эффективность программы «Осознанное материнство» способствовала увеличению частоты партнерских родов, снижению частоты родоразрешений операции кесарева сечения, уменьшению аномалий родовой деятельности и использования родостимуляции окситоцином, уменьшению числа детей, рожденных в состоянии асфиксии и госпитализации новорожденных в ОРИТН.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Grigoriadis S., Graves L., Peer M. et al. Maternal Anxiety During Pregnancy and the Association With Adverse Perinatal Outcomes: Systematic Review and Meta-Analysis // J Clin Psychiatry. 2018 Sep 4;79(5):17r12011.
2. Sally O'Connell, Babita, Williams., Anne, Richley. (2011). Feeling right at home.. Midwives, 14(2):28.
3. Pouryousef S, Jahromi MK, Yeganeh S, Rouhandeh R, Paki S, Jokar M. The Effect of an educational Intervention on Anxiety of Pregnant Women: A Quasi-Experimental Study. Invest Educ Enferm. 2022 Jun;40(2):e05.
4. O'Connell MA, Khashan AS, Leahy-Warren P, Stewart F, O'Neill SM. Interventions for fear of childbirth including tocophobia. Cochrane Database Syst Rev. 2021 Jul 7;7(7):CD013321.
5. Гринева О.В., Прохорова О.В. Психопрофилактическая подготовка к родам: информированность и отношение беременных. Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения: сборник статей V Международной (75 Всероссийской) научно-практической конференции. 2020, 1:38–43.

© Кещьян Людмила Викторовна (mz\_nfpc\_info@mosreg.ru); Ляличкина Наталья Александровна (Cord-an@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВЛИЯНИЕ ПРОГРАММ ПЕРИНАТАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ НА УРОВЕНЬ ТРЕВОГИ И ДЕПРЕССИИ У БЕРЕМЕННЫХ В ТРЕТЬЕМ ТРИМЕСТРЕ И РОДИЛЬНИЦ

## THE IMPACT OF PERINATAL TRAINING PROGRAMS ON THE LEVEL OF ANXIETY AND DEPRESSION IN PREGNANT WOMEN IN THE THIRD TRIMESTER AND WOMAN AFTER GIVING BIRTH

**L. Keshchyan  
N. Lyalichkina  
M. Soldatenkova**

*Summary.* The article presents the results of assessing the level of anxiety and depression based on the hospital anxiety and depression Scale (HADS) in pregnant women at 34 and 36 weeks, as well as on the 3rd day of the postpartum period and 1 month after delivery. The impact of various medical, socio-psychological programs of perinatal training on the dynamics of changes in the level of anxiety and depression in the surveyed women was assessed. Special attention is paid to the study of the psycho-emotional background of the wives of participants in a special military operation. It is shown that the author's program «Conscious motherhood» is an effective method of normalizing the emotional background of pregnant women and women in childbirth.

*Keywords:* pregnancy, hospital anxiety and depression scale (HADS), psycho-emotional background, perinatal training, «Conscious Motherhood» program, wives of participants in a special military operation.

**Кещьян Людмила Викторовна**

кандидат медицинских наук, главный врач,  
Государственное бюджетное учреждение  
здравоохранения Московской области  
«Наро-Фоминский перинатальный центр», Федеральное  
государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Российский  
национальный исследовательский медицинский  
университет имени Н.И. Пирогова» Министерства  
здравоохранения Российской Федерации  
mz\_nfpc\_info@mosreg.ru

**Ляличкина Наталья Александровна**

доктор медицинских наук, руководитель симуляционно-  
тренингового центра, Государственное бюджетное  
учреждение здравоохранения Московской области  
«Наро-Фоминский перинатальный центр»  
Cord-an@yandex.ru

**Солдатенкова Марина Леонидовна**

медицинский психолог, Государственное бюджетное  
учреждение здравоохранения Московской области  
«Наро-Фоминский перинатальный центр»  
Soldatenkovaml@mgppu.ru

*Аннотация.* В статье представлены результаты оценки уровня тревоги и депрессии на основании госпитальной шкалы тревоги и депрессии (HADS) у беременных в 34 и 36 недель, а также на 3 сутки послеродового периода и через 1 месяц после родов. Проведена оценка влияния различных медико-социально-психологических программ перинатальной подготовки на динамику изменения уровня тревоги и депрессии у обследованных женщин. Особое внимание в статье уделено изучению психоэмоционального фона жен участников специальной военной операции. Показано, что авторская программа «Осознанное материнство» является эффективной методикой нормализации эмоционального фона у беременных и родильниц.

*Ключевые слова:* беременность, госпитальная шкала тревоги и депрессии (HADS), психоэмоциональный фон, перинатальная подготовка, программа «Осознанное материнство», жены участников специальной военной операции.

### Актуальность

Изменения психоэмоционального фона во время беременности происходят под воздействием гормональных и социально-бытовых факторов, оказывая влияние на течение беременности и родов (Кацура В.С., 2021). Эмоциональный фон беременной женщины не только дестабилизирует ее состояние и отношения с близкими, но и значительно влияет на фор-

мирование «внутриутробного психологического опыта плода» (Володин Н.Н. с соавт., 2009). Негативное влияние тревожности на беременных и их плоды может привести к ошибочным показаниям тестов при электронном мониторинге состояния плода, повлиять на продолжительность первого этапа родов и другие аспекты, связанные с родами. (Estrella-Juarez F. et al., 2023). Важно осуществлять мониторинг количественных и качественных показателей тревожности у беременных (Донгак У.Ш. с со-

авт., 2021, Feduniw S. et al., 2021). О.В. Прохоровой соавт. (2023) по результатам опроса пациенток показано, что снимает тревожность перед родами (90 % опрошенных), повышает информированность о процессе родов (86 % опрошенных), улучшает психологическое состояние женщины (80 % опрошенных) в первую очередь подготовка к родам.

На основании вышеизложенного была определена цель исследования: оценить влияние медико-социально-психологических программ дородовой подготовки на уровень тревоги и депрессии у женщин в третьем триместре беременности и после родов.

### Материал и методы исследования

Для достижения поставленной цели 537 беременных женщин в сроке 34 недели были распределены методом простой рандомизации на 2 группы: основную А (273 беременных) и группу сравнения (264 беременных). Дополнительно была выделена основная группа Б — 57 беременных жен участников СВО. Пациенткам обеих основных групп проводилась дородовая подготовка по программе «Осознанное материнство», состоящей из 4 сессий: сессия № 1 «В ожидании чуда»; сессия № 2 «Мы — компетентные родители»; сессия № 3 «Мы — счастливая пара»; сессия № 4 «Мы — счастливая семья». Каждая сессия включала в себя лекционное занятие, тренинг и практическое занятие, направленные на формирование ответственности всех членов семьи

за рождение и воспитание ребенка. Пациентки группы сравнения проходили пренатальную подготовку в традиционной школе материнства. Уровень тревоги и депрессии определяли на основании госпитальной шкалы тревоги и депрессии (HADS) во время четырех визитов: 1 визит — в 34 недели беременности в начале исследования — исходные данные; 2 визит — по окончании медико-социально-психологических программ — в 36 недель; 3 визит — 3 сутки после родов, 4 визит — 1 месяц после родов.

Статистическую обработку проводили с использованием пакета Microsoft Excel 2011. Для сравнения процентных долей в двух группах использовали анализ четырехпольных таблиц сопряженности (критерий  $\chi^2$ ). Различия признавались статистически достоверными при уровне вероятности безошибочного прогноза ( $p < 0,05$ ).

### Результаты исследования

По возрасту, паритету родов, социальному статусу, данным соматического и акушерско-гинекологического анамнеза все обследованные группы были сопоставимы. При первом визите отсутствие тревоги было у 37,7 % беременных основной группы А, только у 14,0 % — в основной группе Б и у 44,7 % — в группе сравнения (рис. 1). Субклинически выраженная тревога была у 57,9 %, 21,1 % и 49,2 % женщин соответственно. Клинически выраженная тревога была наиболее характерна для жен участников СВО (64,9 %) беременных. При оценке уров-

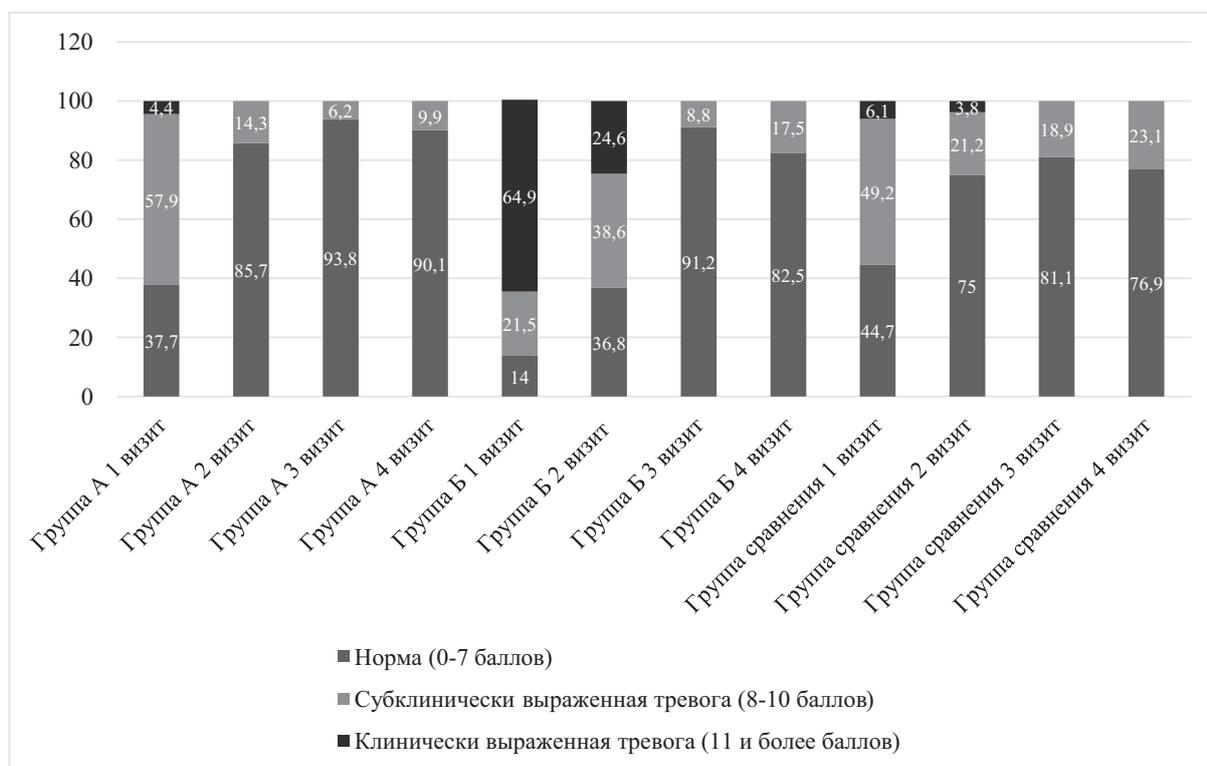


Рис. 1. Определение уровня тревоги у обследованных пациенток (%)

ня тревоги и депрессии по госпитальной шкале HADS после проведенной перинатальной подготовки оказалось, что нормальный уровень тревоги в основной группе А был у 234 (85,7 %) пациенток, что в 2,3 раза больше ( $\chi^2=213,242$ ,  $P<0,001$ ), чем до проведения программы, в основной группе Б — на 162,8 % больше ( $\chi^2=7,816$ ,  $P=0,006$ ) — но всего 21 (36,8 %) пациентка, а в группе сравнения женщин с нормальным уровнем тревоги после программы было 198 (75,0 %), а это на 67,8 % больше ( $\chi^2=50,442$ ,  $P<0,001$ ), чем при первом визите. На втором визите на 75,3 % уменьшилось ( $\chi^2=56,672$ ,  $P<0,001$ ) количество респонденток с субклинически выраженной тревогой в группе А «Осознанного материнства», на 79,5 % — в основной группе Б ( $\chi^2=4,191$ ,  $P=0,041$ ), в группе сравнения также были получены аналогичные результаты, таких женщин оказалось на 56,9 % меньше ( $\chi^2=45,453$ ,  $P<0,001$ ) чем при первом визите — 56 (21,2 %) беременных. После проведения курса занятий клинически выраженная тревога не встречалась у пациенток основной группы А, в основной группе Б их осталось 14 (24,6 %) — на 62,1 % меньше ( $\chi^2=18,750$ ,  $P<0,001$ ), чем до программы, а в группе сравнения было всего 10 (3,8 %) таких женщин, при этом достоверных изменений показателя по сравнению с исходными не происходило ( $\chi^2=1,456$ ,  $P=0,228$ ).

На 3 сутки послеродового периода в основной группе А не испытывали какой-либо тревоги 256 (93,8 %) пациенток, что было на 9,5 % ( $\chi^2=9,631$ ;  $P<0,001$ ) больше, чем при втором визите; в основной группе Б число пациенток в нормальном уровне тревоги увеличилось в 2,5 раза ( $\chi^2=36,603$ ;  $P<0,001$ ) и составило 52 (91,2 %) респонденток в послеродовом периоде против 21 (36,8 %) женщины при предыдущем обследовании. Такая выраженная положительная динамика была связана с дополнительной работой медицинского психолога с этим контингентом пациенток с одной стороны, с другой стороны с возможностью встретиться с супругом. В группе сравнения также увеличилось количество женщин с нормальными показателями уровня тревоги — их стало 214 (81,1 %), что оказалось недостоверно на 8,1 % ( $\chi^2=2,828$ ;  $P=0,093$ ) больше, чем сразу после завершения обучения по программе школы материнства, когда их было 198 (75,0 %).

Число пациенток с субклинически выраженной тревогой на 3 сутки после родов уменьшилось в основной группе А в 2,3 раза ( $\chi^2=9,631$ ;  $P=0,002$ ) и составляло 17 (6,2 %) пациенток, тогда как при втором визите их было 39 (14,3 %). В основной группе Б число женщин с субклинически выраженной тревогой сократилось в 4,2 раза ( $\chi^2=10,471$ ;  $P=0,002$ ) и составило 5 (8,8 %) респонденток, при втором визите их было 22 (38,6 %). В группе сравнения эти изменения не были столь значимыми. Число женщин с субклинически выраженной депрессией после родов оказалось 50 (18,9 %), что было меньше, чем

при втором визите на 9,0 % ( $\chi^2=0,425$ ;  $P=0,515$ ), но достоверно не отличалось.

Продолжая анализировать результаты анкетирования по госпитальной шкале тревоги и депрессии (HADS) было установлено, что во всех обследованных группах произошло некоторое повышение уровня тревожности через месяц после родов за счет субклинически выраженной тревоги. В основной группе пациенток с нормальными показателями было 248 (90,1 %), что практически не отличалось от предыдущего показателя ( $\chi^2=1,651$ ;  $P=0,199$ ) и от результатов, полученных в основной группе Б ( $\chi^2=3,498$ ;  $P=0,062$ ), а вот по сравнению с результатами из группы сравнения их было на 18,1 % больше ( $\chi^2=19,414$ ;  $P<0,001$ ). В основной группе Б количество пациенток с нормальным уровнем тревоги было 47 (82,5 %), что не имело статистически значимых различий при сравнении с 3 визитом ( $\chi^2=1,919$ ;  $P=0,166$ ) и с группой сравнения ( $\chi^2=0,842$ ;  $P=0,359$ ).

При оценке исходных данных по подшкале D (депрессия), клинически выраженной депрессии не было зафиксировано ни в одной группе. Субклиническая депрессия оказалась характерна для 28,2 % беременных в основной группе А, у 56,1 % — в основной группе Б и у 22,7 % — в группе сравнения. Для остальных обследованных пациенток было характерно нормальное состояние по уровню депрессии. После программы «Осознанное материнство» в основной группе А на 29,6 % увеличилось ( $\chi^2=42,517$ ,  $P<0,001$ ) число женщин с нормальным состоянием относительно наличия депрессии: до программы их было 196 (71,8 %) после программы стало 254 (93,0 %), в основной группе Б таких пациенток стало 34 (59,6 %) вместо 25 (43,9 %) при первом визите, что не имело достоверных различий ( $\chi^2=12,846$ ,  $P=0,092$ ). В группе сравнения таких женщин стало 221 (83,7 %), что на 8,3 % меньше, чем до занятий в школе материнства, но различия также были недостоверными ( $\chi^2=3,486$ ,  $P=0,062$ ).

В основной группе А после родов женщин с нормальным состоянием по уровню депрессии было 270 (98,9 %), что оказалось на 6,3 % больше ( $\chi^2=12,125$ ;  $P<0,001$ ) по сравнению с предыдущим показателем 254 (93,0 %). В основной группе Б изменения после родов стали более значимыми: на 58,9 % ( $\chi^2=19,930$ ;  $P<0,001$ ) увеличилось число пациенток с нормальными показателями по уровню депрессии, их число составило 54 (94,7 %) респонденток. В основной группе Б позитивные изменения оказались более значимыми: после родов количество родильниц, не испытывающих депрессии, составило 54 (94,7 %), это было на 58,9 % больше ( $\chi^2=19,930$ ;  $P<0,001$ ), чем при втором посещении, когда этих пациенток было лишь 34 (59,6 %). В группе сравнения также увеличилось число пациенток с нормальным состоянием по уровню депрессии. Их стало 258 (97,7 %), т.е. на 17,4 % больше по сравнению с предыдущим показателем 221 (83,7 %) женщин ( $\chi^2=30,797$ ;  $P<0,001$ ).

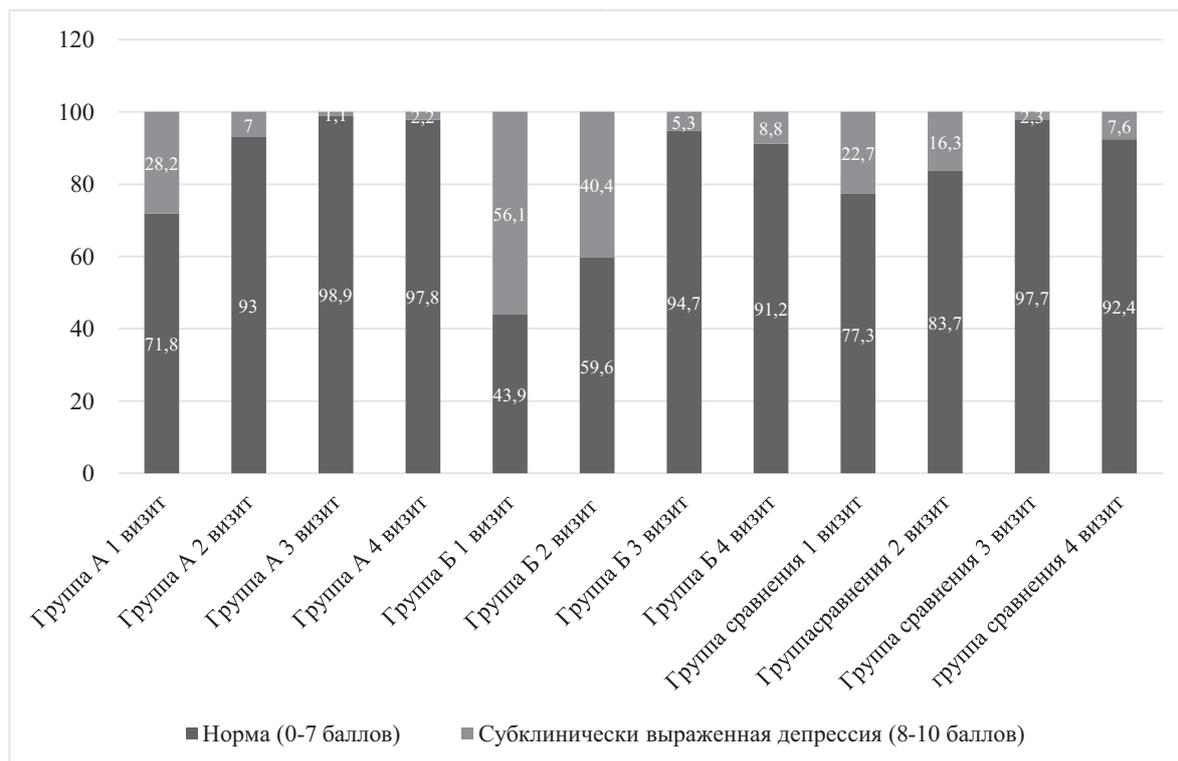


Рис. 2. Определение уровня депрессии у обследованных пациенток (%)

В основной группе А после родов женщин с нормальным состоянием по уровню депрессии было 270 (98,9 %), что оказалось на 6,3 % больше ( $\chi^2=12,125$ ;  $P<0,001$ ) по сравнению с предыдущим показателем 254 (93,0 %). В основной группе Б изменения после родов стали более значимыми: на 58,9 % ( $\chi^2=19,930$ ;  $P<0,001$ ) увеличилось число пациенток с нормальными показателями по уровню депрессии, их число составило 54 (94,7 %) респонденток. В основной группе Б позитивные изменения оказались более значимыми: после родов количество родильниц, не испытывающих депрессии, составило 54 (94,7 %), это было на 58,9 % больше ( $\chi^2=19,930$ ;  $P<0,001$ ), чем при втором посещении, когда этих пациенток было лишь 34 (59,6 %). В группе сравнения также увеличилось число пациенток с нормальным состоянием по уровню депрессии. Их стало 258 (97,7 %), т.е. на 17,4 % больше по сравнению с предыдущим показателем 221 (83,7 %) женщин ( $\chi^2=30,797$ ;  $P<0,001$ ).

Соответственно описанным выше данным уменьшилось число респонденток с субклинически выраженной депрессией. В основной группе А таких женщин оказалось 3 (1,1 %), что было меньше, чем при предыдущем визите на 84,3 % ( $\chi^2=12,125$ ;  $P<0,001$ ), в основной группе Б на третьи сутки после родов только 3 (5,3 %) женщин по результатам анкетирования обнаружили признаки субклинически выраженной депрессии, а это было в 7,8 раза меньше ( $\chi^2=19,930$ ;  $P<0,001$ ), чем по окончании обучения по программе «Осознанное материнство». Также уменьшилось число пациенток с субклинически выра-

женной депрессией и в группе сравнения. На третьи сутки послеродового периода их оказалось только 6 (2,3 %), что было в 7 раз меньше ( $\chi^2=30,797$ ;  $P<0,001$ ), чем при втором визите. При анализе результатов (подшкалы D (депрессия)), также сохранялись позитивные изменения по сравнению с исходными данными (рис. 2). В основной группе А признаки депрессии отсутствовали у 267 (97,8 %) родивших женщин, что не отличалось от результатов при предыдущем визите ( $\chi^2 = 1,017$ ;  $P=0,0,314$ ). По сравнению с результатами в группе сравнения их было на 5,5 % больше ( $\chi^2 = 8,425$ ;  $P=0,0,004$ ), а в основной группе Б на 6,7% больше ( $\chi^2 = 6,325$ ;  $P=0,012$ ). Субклинически выраженная депрессия была выявлена у 6 (2,2 %) пациенток основной группы А, что было в 4 раза меньше ( $\chi^2 = 6,325$ ;  $P=0,012$ ), чем в основной группе Б, где таких пациенток было 5 (9,8 %) и в 3,5 раза меньше ( $\chi^2 = 8,425$ ;  $P=0,004$ ), чем группе сравнения, в которой нормальное состояние по уровню депрессии было у 20 (7,6 %) женщин.

Таким образом, положительным эффектом программ медико-социально-психологической подготовки следует считать устранение уровня клинически выраженной тревоги и депрессии во всех обследованных группах. Наиболее стойкий эффект был достигнут в группах, где обучение проводилось по программе «Осознанное материнство». Несмотря на высокий уровень социального напряжения в группе женщин — жен участников СВО, нам удалось добиться устойчивого улучшения психоэмоционального состояния у этих пациенток.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Кацура, К.С. Взаимосвязь между уровнем тревожности беременных женщин и планом ведения родов / К. С. Кацура // Молодежный инновационный вестник. — 2021. — Т. 10, № S1. — С. 23–25.
2. Володин Н.Н., Сидоров П.И. Перинатальная психология и психиатрия. Москва; Издательский центр «Академия», 2009. 79–80 с.
3. Estrella-Juarez F, Requena-Mullor M, Garcia-Gonzalez J, Lopez-Villen A, Alarcon-Rodriguez R. Effect of Virtual Reality and Music Therapy on the Physiologic Parameters of Pregnant Women and Fetuses and on Anxiety Levels: A Randomized Controlled Trial. J Midwifery Womens Health. 2023 Jan;68(1):35–43.
4. Донгак, У.Ш. Психологическое исследование особенности проявления тревожности у беременных женщин в возрасте 20–40 лет / У.Ш. Донгак, Ж.Г. Василькова // Психологическое здоровье человека: жизненный ресурс и жизненный потенциал : материалы VII-й Международной научно-практической конференции, Красноярск, 26–27 ноября 2020 года / Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого. — Красноярск: Версо, 2021. — С. 338–344.
5. Feduniw S, Modzelewski J, Kajdy A, Sys D, Kwiatkowski S, Makomaska-Szaroszyk E, Rabijewski M. Anxiety of pregnant women in time of catastrophic events, including COVID-19 pandemic: a systematic review and meta-analysis. J Psychosom Obstet Gynaecol. 2022 Dec;43(4):400–410.
6. Прохорова, О.В. Подготовка к родам у первородящих: оценка влияния на некоторые характеристики психологического статуса / О.В. Прохорова // Медицинская наука и образование Урала. — 2020. — Т. 21, № 3(103). — С. 17–20.

---

© Кещьян Людмила Викторовна (mz\_nfrc\_info@mosreg.ru); Ляличкина Наталья Александровна (Cord-an@yandex.ru);  
Солдатенкова Марина Леонидовна (Soldatenkovam1@mgppu.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОПЫТ ОПТИМИЗАЦИИ УСЛОВИЙ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭНДОСКОПИЧЕСКОГО ГЕМОСТАЗА ПРИ ЯЗВЕННЫХ ГАСТРОДУОДЕНАЛЬНЫХ КРОВОТЕЧЕНИЯХ

## EXPERIENCE IN OPTIMIZING THE CONDITIONS FOR PERFORMING ENDOSCOPIC HEMOSTASIS FOR ULCERATIVE GASTRODUODENAL BLEEDING

**A. Strinkevich**  
**D. Amarantov**  
**A. Chudinov**  
**E. Orevkov**  
**A. Barinova**  
**P. Denisova**  
**N. Fedachuk**

*Summary. Introduction.* Currently, there is a need to improve the method of endoscopic hemostasis in stopping ulcerative gastroduodenal bleeding. *The purpose of the study.* To improve the technique of endoscopic hemostasis to improve the results of treatment of patients with ulcerative gastroduodenal bleeding.

*Materials and methods.* The results of primary endoscopic examination with endoscopic hemostasis and endoscopic prevention of recurrent bleeding in 228 (100 %) patients with ulcerative gastroduodenal bleeding were studied.

*Results.* In the studied patients, endoscopic hemostasis measures began with irrigation of the ulcer with 96 % ethyl alcohol, which led to a decrease in the rate of bleeding, simplified visualization of the ulcerative defect and the source of bleeding.

*Conclusion.* Immediately after irrigation with alcohol, 25 % of patients with ongoing gastroduodenal ulcerative bleeding managed to stop bleeding, and in 48.44 % of cases it was possible to reduce the rate of bleeding, which simplified further measures of endoscopic hemostasis.

*Keywords:* esophagogastroduodenoscopy, gastrointestinal bleeding, stopping bleeding.

**Стринкевич Александр Владимирович**

Аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
Министерства Здравоохранения Российской Федерации  
strinkevi4@gmail.com

**Амарантов Дмитрий Георгиевич**

Доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
Министерства Здравоохранения Российской Федерации  
svetlam1@yandex.ru

**Чудинов Андрей Аркадьевич**

Заведующий отделением эндоскопии  
ГБУЗ ПК «ГКБ им. М.А. Тверье»  
Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Пермского края «Городская клиническая больница имени М.А. Тверье»  
endo2008@mail.ru

**Ореков Евгений Борисович**

Аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
Министерства Здравоохранения Российской Федерации  
Orevkov.fanat@yandex.ru

**Баринова Ангелина Сергеевна**

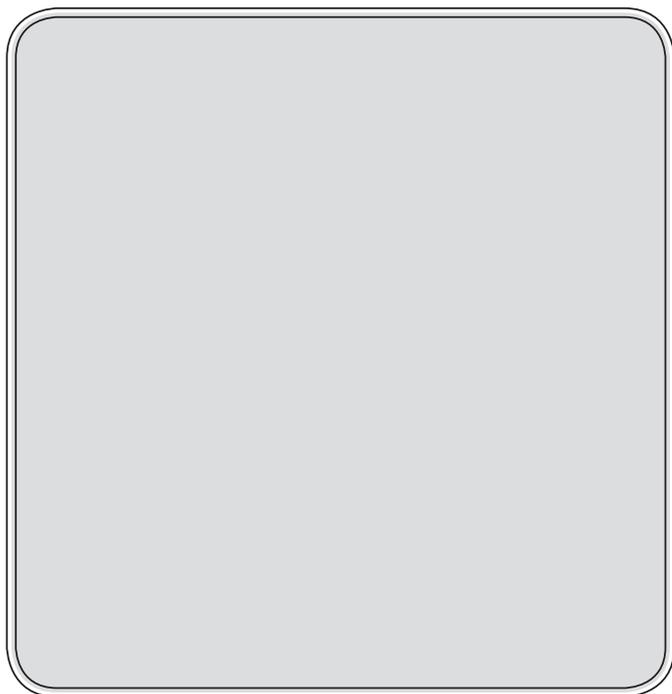
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
Министерства Здравоохранения Российской Федерации  
angelinasistema2015@gmail.com

**Денисова Полина Сергеевна**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
Министерства Здравоохранения Российской Федерации  
dpspolly09@mail.ru

**Федачук Наталья Анатольевна**

Кандидат медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
Министерства Здравоохранения Российской Федерации  
fna79@mail.ru



### Введение

Одним из наиболее тяжелых осложнений язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки (ДПК) является желудочно-кишечное кровотечение. Подобное осложнение сопровождает течение язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки в 10–15 % наблюдений [1, 2, 3]

К сожалению, число больных с язвенными гастродуоденальными кровотечениями не только не уменьшается, но даже возрастает в некоторых регионах Российской Федерации [4].

Показатели летальности при этой патологии остаются высокими и на сегодня колеблются в пределах от 5 % до 19 %. [1, 3, 5]

В случае выполнения оперативного лечения этой группе больных, летальность резко возрастает. Послеоперационная летальность колеблется в пределах от 5,8 до 35 %, а у лиц пожилого возраста может достигать 55 % [1, 4, 5, 6]

Язвенные гастродуоденальные кровотечения, кроме того, остаются и серьезной экономической проблемой. В США ежегодно с таким диагнозом госпитализируется около 300000 пациентов, на стационарное лечение которых расходуется около одного миллиарда долларов. [7]

На сегодня основной тенденцией совершенствования методов оказания помощи этой категории пациен-

*Аннотация. Введение.* В настоящее время существует необходимость усовершенствования метода эндоскопического гемостаза при остановке язвенных гастродуоденальных кровотечений.

*Цель исследования.* Усовершенствовать методику эндоскопического гемостаза для улучшения результатов лечения больных с язвенными гастродуоденальными кровотечениями.

*Материалы и методы.* Изучены результаты первичного эндоскопического исследования с выполнением мероприятий эндоскопического гемостаза и эндоскопической профилактики рецидивов кровотечений у 228 (100 %) пациентов с язвенными гастродуоденальными кровотечениями.

*Результаты.* У исследуемых больных мероприятия эндоскопического гемостаза начинали с орошения язвы 96 % этиловым спиртом, что приводило к снижению темпа кровотечения, упрощению визуализации язвенного дефекта и источника кровотечения.

*Заключение.* Непосредственно после орошения спиртом у 25 % больных с продолжающимся гастродуоденальным язвенным кровотечением удалось остановить кровотечение, а в 48,44 % случаев удалось снизить темп кровотечения, что упростило дальнейшие мероприятия эндоскопического гемостаза.

*Ключевые слова:* эзофагогастродуоденоскопия, желудочно-кишечные кровотечения, остановка кровотечения.

тов является снижение оперативной активности за счет совершенствования и широкого применения методов эндоскопического гемостаза [2].

При этом, современные способы эндоскопического гемостаза, по мнению многих авторов, требуют совершенствования, так как даже при применении комбинированных методик гемостаза, рецидивы кровотечения, встречаются в 10–46 % случаев. [8]

### Цель исследования

Усовершенствовать методику эндоскопического гемостаза для улучшения результатов лечения больных с язвенными гастродуоденальными кровотечениями.

### Материалы и методы

Работа выполнена по результатам лечения 228 пациентов с гастродуоденальными язвенными кровотечениями, госпитализированными в отделение экстренной хирургии ГКБ им. М.А. Тверье г. Перми. Мужчин среди обследованных пациентов было 148 (64,91 %) человек, женщин — 80 (35,09 %).

Всем больным в течении 2 часов с момента поступления выполнялась фиброэзофагогастродуоденоскопия (ФЭГДС), во время которой визуализировался источник кровотечения и выполнялись мероприятия эндоскопического гемостаза. Использовалась стандартная эндоскопическая техника. ФЭГДС при стабильном состоянии пациента выполняли в эндоскопическом кабинете, у тя-

желых больных и при наличии признаков продолжающегося кровотечения — в операционной в присутствии бригады анестезиологов.

### Результаты

Средний возраст пациентов составил  $56,7 \pm 6,1$  лет у мужчин и  $67,38 \pm 5,2$  лет у женщин. 112 (49,12 %) пациентов были трудоспособного возраста. Наибольшее число больных с язвенными гастродуоденальными кровотечениями поступили зимой. Их было 79 (34,65 %) человек. Нам этот факт представляется интересным, так как существует устойчивое мнение, что обострения язвенной болезни желудка и ДПК чаще всего происходят весной и осенью. В период до 24 часов от начала кровотечения в стационар обратились 92 (40,35 %) пациента, в более поздние сроки — 136 (59,65 %) пациентов.

У 93 (40,79 %) пациентов источником кровотечения была язва желудка, а у 132 (57,89 %) больных — язва ДПК. У 3 (1,32 %) пациентов находили кровоточащие язвы сочетанной локализации. Осложнение в виде кровотечения при острых язвах желудка и ДПК наблюдались у 40 (17,54 %) больных. Причиной кровотечения у остальных 188 (82,46 %) пациентов являлась хроническая язва желудка и ДПК.

При госпитализации легкую степень кровопотери определили у 38 (16,67 %) человек, со среднюю — у 124 (54,39 %) и тяжелую — у 66 (28,95 %) пациентов. У больных с продолжающимся кровотечением был выполнен эндоскопический гемостаз. Больные, у которых на момент осмотра кровотечение остановилось выполняли мероприятия эндоскопической профилактики кровотечения. При эндоскопической остановке кровотечения использовались клипирование, аргоноплазменная коагуляция и обкалывание язвенного дефекта 0,01 % раствором адреналина. Наиболее часто при эндоскопической остановке кровотечения использовали аргоноплазменную коагуляцию совместно с инъекционным методом гемостаза.

В схему выполнения эндоскопического гемостаза мы ввели такой компонент как орошение язвы раствором 96 % этилового спирта. Орошение спиртом применяли чаще всего как вспомогательный метод гемостаза, с которого начинали процедуру эндоскопической остановки кровотечения. При продолжающемся кровотечении, во время ЭГДС производили орошение кровоточащего сосуда 96 % этиловым спиртом, объемом 20 мл, что по нашим наблюдениям вызывало снижение темпа или даже остановку кровотечения. После этого выполняли инъекционный гемостаз, при необходимости — аргоноплазменную коагуляцию или клипирование источника кровотечения. При остановившемся кровотечении и наличии тромбированного сосуда, тромбированный сосуд

обрабатывался спиртом, что приводило к уплотнению тромба. При обнаружении сгустка крови на язвенной поверхности, сгусток орошался спиртом, который сразу же уменьшался в размерах и давал возможность увидеть край язвы.

Распределение больных по классификации J.A. Forrest выглядело следующим образом: Forrest I — 64 (28,07 %) больных, Forrest II — 138 (60,53 %) пациентов, Forrest III — 26 (11,4 %) больных.

Опыт использования описанного оперативного приема у пациентов выглядел следующим образом. Среди 64 (28,07 %) пациентов Forrest I было 22 (9,65 %) больных с Forrest Ia и 42 (16,28 %) пациента с Forrest Ib.

При выполнении эндоскопического исследования у 8 (3,23 %) из 22 (9,65 %) пациентов с кровотечением Forrest Ia обнаружили активно бьющую через просвет органа алую струю крови, практически не имеющую видимой пульсации. При орошении спиртом интенсивность кровотечения удалось снизить у 3 (1,32 %) пациентов, у которых струя стала прерывистой пульсирующей. Это позволило более точно визуализировать источник кровотечения. После этого больным был выполнен эндоскопический гемостаз клипированием у 4 (1,75 %) больных или аргоноплазменной коагуляцией у 4 (1,75 %) больных. У остальных 14 (6,14 %) человек с картиной кровотечения Forrest Ia мы наблюдали менее интенсивную, пульсирующую струю крови. После аппликации этиловым спиртом только у 3 (1,32 %) пациентов интенсивность кровотечения не снизилась, тогда как у 5 (2,35 %) пациентов кровотечение прекратилось полностью, а еще у 6 (2,63 %) пациентов визуальная интенсивность поступления крови значительно уменьшилась. Части больных был выполнен инъекционный гемостаз путем введения в стенку желудка или двенадцатиперстной кишки физраствора с адреналином, окончательный гемостаз у 11 (4,82 %) из этих больных был достигнут с помощью аргоноплазменной коагуляции, а у 3 (1,32 %) человек — клипированием.

У 42 (18,42 %) человек мы выявили эндоскопическую картину Forrest Ib — «сочащееся кровотечение». При аппликации этилового спирта у 22 (9,65 %) пациентов кровотечение стихло, а у 11 (4,82 %) человек полностью остановилось. После этого был проведен эффективный гемостаз с помощью инъекции физраствора и аргоноплазменной коагуляции.

При обнаружении эндоскопической картины Forrest II, которая встречалась чаще всего — у 138 (60,53 %) пациентов, у 15 (6,58 %) больных мы наблюдали эндоскопическую картину Forrest IIa, у 73 (32,02 %) пациентов — Forrest IIb, у 50 (21,93 %) пациентов — Forrest IIc.

При выявлении у 15 (6,58 %) больных эндоскопической картины Forrest IIa мы выполняли обработку тромбированного сосуда спиртом, что делало тромб более плотным. Эндоскопическую профилактику рецидива кровотечения завершили клипированием — у 7 (3,07 %) человек и аргоноплазменной коагуляцией — у 8 (3,51 %) человек.

При обнаружении у 73 (32,02 %) пациентов эндоскопической картины Forrest II в, то есть при визуализации сгустка, покрывающего язву, у 38 (16,67 %) пациентов удалось выполнить удаление сгустка механически или струей физраствора, после чего мы орошали кратер язвы струей этилового спирта. После удаления сгустка у 25 (10,96 %) пациентов мы наблюдали диффузное подкрамливание из кратера язвы, которое у 18 (7,89 %) больных было остановлено практически полностью после орошения спиртом. У остальных 13 (5,7 %) пациентов после удаления сгустка на дне язвы наблюдали рыхлые тромботические массы, которые после обработки спиртом принимали заметно более оформленный характер. Окончательный гемостаз у этих больных был достигнут аргоноплазменной коагуляцией или сочетанием инъекционного гемостаза с аргоноплазменной коагуляцией.

В особую группу следует выделить 35 (15,35 %) пациентов у которых сгусток не смывался и закрывал язвенный дефект, а нередко имел большие размеры выполняя порой значительную часть желудка. У этих больных обработка сгустка этиловым спиртом вызывало его резкое уменьшение в размерах, после чего у 28 (12,28 %) больных мы смогли отчётливо увидеть края язвы. Им были выполнены мероприятия эндоскопической профилактики рецидива кровотечения — инъекционный гемостаз или аргоноплазменная коагуляция.

При обнаружении у 40 (17,54 %) пациентов эндоскопической картины Forrest II с — плоских сгустков, участков гематина, проводили орошение язвенной поверхности спиртом.

У 26 (10,08 %) пациентов при обнаружении эндоскопической картины Forrest III мероприятия эндоскопической профилактики рецидива кровотечения не проводились.

Таким образом, в результате применения методики орошения язвы — источника кровотечения этиловым спиртом у 93 (46,04 %) больных из 202 (100 %) пациентов с кровотечениями Forrest I и Forrest II, был достигнут отчетливо визуализируемый положительный эффект. Этот эффект, заключающийся в снижении темпа кровотечения, что значительно упрощало мероприятия эндоскопического гемостаза и уменьшении в размерах кровяного сгустка, что упрощало визуализацию язвенного дефекта и источника кровотечения. Еще у 68 (33,66 %)

пациентов воздействие спирта, на наш взгляд, приводило к уплотнению кровяного сгустка — тромба, что повышало надежность остановки кровотечения.

Таким образом, использование такого простого приема, как орошение источника кровотечения 96 % этиловым спиртом, заметно упростило выполнение эндоскопического гемостаза у больных язвенными гастродуоденальными кровотечениями. При этом использование такого приема не требовало значимого времени и материальных затрат. Положительный результат от воздействия спиртом на источник кровотечения был достигнут в 79,7 % случаев.

Из 64 (100 %) человек с продолжающимся кровотечением (Forrest I) воздействие спирта дало положительный эффект у 47 (73,44 %) пациентов. Причем у 16 (25 %) человек кровотечение полностью прекратилось, а у 31 (48,44 %) пациента темп кровотечения значительно уменьшился, что обеспечило заметно более комфортные условия эндоскопического гемостаза. Таким образом, остановить, либо создать комфортные условия для остановки продолжающегося кровотечения удалось в 73,44 % случаях.

Необходимо так же отметить, что у всех 228 больных удалось выполнить успешный эндоскопический гемостаз.

### Обсуждение

На сегодня среди авторов не закончена дискуссия о преимуществах тех или иных методов эндоскопического гемостаза и их сочетаний при язвенных гастродуоденальных кровотечениях. Шульга отдает предпочтение аргоноплазменной коагуляции и клипированию, отмечая, что ему удалось снизить частоту рецидивов кровотечения до 0 % [3]. Бархатова и соавт. использовали лазерную фотокоагуляцию как монометод эндоскопического гемостаза, а также в сочетании ее с аппликацией капрофера или обкалыванием язвы спиртом. [6]. Schmidt и соавт. отдает предпочтение эндоскопическому клипированию, считая его приоритетным методом эндоскопической остановки кровотечения [9]. Однако вне зависимости от метода непосредственной остановки кровотечения важно создать благоприятные условия для выполнения оперативного эндоскопического приема. Используемый нами способ эндоскопического орошения кровоточащей язвы раствором 96 % этилового спирта позволяет создать такие благоприятные условия.

### Выводы

1. Среди больных с язвенными гастродуоденальными кровотечениями, поступающими в хирургический стационар 28,07 % составляют больные

с продолжающимся кровотечением (Forrest I), 60,53 % пациенты с остановившимся кровотечением (Forrest II) и 11,4 % больных без признаков кровотечения на момент эндоскопического осмотра (Forrest III).

- Орошение кровоточащей гастродуоденальной язвы 96 % этиловым спиртом позволяет в 25 % случаев остановить кровотечение, а в 48,44 % случаев снизить темп кровотечения.

- Предварительное орошение источника язвенного гастродуоденального кровотечения 96 % этиловым спиртом позволяет получить положительный эффект, заключающийся в снижении темпа кровотечения и уменьшении в размерах кровяного сгустка, создать комфортные условия для проведения эндоскопического гемостаза и добиться его 100 % эффективности.

## ЛИТЕРАТУРА

- Хитарьян А.Г., Пономарев А.В., Шатов Д.В. и др. Предикторы рецидива острого неварикозного кровотечения из верхних отделов желудочно-кишечного тракта. *Московский хирургический журнал*. 2020;(1):78–87. [Khitaryan AG., Ponomarev AV., Shatov DV., et al. Predictors of recurrence acute non variceal upper gastrointestinal bleeding. *Moscow Surgical Journal*. 2020;(1):78–87.] (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2072-3180.2020.1.78-87>
- Липницкий Е.М., Алекберзаде А.В., Гасанов М.Р. Причины рецидива язвенного гастродуоденального кровотечения. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2017;(3):4–10. [Lipnitskiy EM, Alekberzade AV, Gasanov MR. The causes of recurrent ulcerative gastroduodenal bleeding. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2017;(3):4–10.] (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/hirurgia201734-10>
- Шульга А.Ф., Стекольников А.А., Богатков Н.Д. и др. Оценка методов эндоскопического гемостаза в лечении язвенных гастродуоденальных кровотечений. *Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения*. 2018. Т. 13. № 1. С. 421–429. [Shulga AF., Stekolnikov AA., Bogatkov ND., et al. Evaluation of methods of endoscopic hemostasis in the treatment of ulceral gastroduodenal bleeding. *Health is the basis of human potential: problems and ways to solve them*. 2018. T. 13. № 1. C. 421–429.] (In Russ.)
- Акимов В.П., Кубачёв К.Г., Творогов Д.А. и др. Лечение неварикозных пищеводажно-желудочно-кишечных кровотечений с применением малоинвазивных технологий. В сборнике: VII съезд хирургов Сибири. Сборник научно-практических работ. Ответственный редактор Т.Г. Рукша. 2019. С. 153–162. [Akimov VP., Kubachev KG., Tvorogov DA., et al. Treatment of non-variceal esophageal-gastrointestinal bleeding using minimally invasive technologies. In the collection: VII Congress of Surgeons of Siberia. Collection of scientific and practical works. Executive editor T.G. Ruksha. 2019. pp. 153–162.] (In Russ.)
- Kim JS, Kim BW, Park SM, et al. Factors Associated with Rebleeding in Patients with Peptic Ulcer Bleeding: Analysis of the Korean Peptic Ulcer Bleeding (K-PUB) Study. *Gut Liver*. 2018 May 15;12(3):271–277. doi: <https://doi.org/10.5009/gnl17138>. PMID: 29409302; PMCID: PMC5945258.
- Бархатова Н.А. Роль эндоскопического фотокоагуляционного гемостаза при желудочно-кишечных кровотечениях. *Вестник Совета молодых ученых и специалистов Челябинской области*. 2016. Т.2. №2 (13). С. 7–9. [Barkhatova NA. The role of endoscopic photocoagulation hemostasis in gastrointestinal bleeding. *Bulletin of the Council of Young Scientists and Specialists of the Chelyabinsk Region*. 2016. T.2. No. 2 (13). pp. 7–9.] (In Russ.)
- Mohan P, Manov J, Diaz-Bode A, et al. Clinical predictors of arterial extravasation, rebleeding and mortality following angiographic interventions in gastrointestinal bleeding. *J Gastrointest Liver Dis*. 2018 Sep;27(3):221–226. doi: <https://doi.org/10.15403/jgld.2014.1121.273.daz>. PMID: 30240464.
- Чередников Е.Ф., Баранников С.В., Глухов А.А. и др. Использование Асептисорб-А и обогащенной тромбоцитами плазмы в комплексном эндоскопическом лечении больных с язвенными гастродуоденальными кровотечениями. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии* 2017; 10: 2: 116–122. DOI: 10.18499/2070-478X-2017-10-2-116-122. [Cherednikov EF, Barannikov SV, Glukhov AA., et al. The Use of Aseptisob-A and Plateletrich Plasma in Complex Endoscopic Treatment of Patients with Ulcer Gastroduodenal Bleeding. *Vestnik of experimental and clinical surgery* 2017; 10: 2: 116–122.] DOI: <https://doi.org/10.18499/2070-478X-2017-10-2-116-122>
- Schmidt A, Gölder S, Goetz M, et al. Over-the-Scope Clips Are More Effective Than Standard Endoscopic Therapy for Patients With Recurrent Bleeding of Peptic Ulcers. *Gastroenterology*. 2018 Sep;155(3):674–686.e6. doi: <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2018.05.037>. Epub 2018 May 24. PMID: 29803838.

© Стринкевич Александр Владимирович (strinkevi4@gmail.com); Амарантов Дмитрий Георгиевич (svetlam1@yandex.ru);  
 Чудинов Андрей Аркадьевич (endo2008@mail.ru); Оревкин Евгений Борисович (Orevkov.fanat@yandex.ru);  
 Баринаова Ангелина Сергеевна (angelinasistema2015@gmail.com); Денисова Полина Сергеевна (dpspolly09@mail.ru);  
 Федачук Наталья Анатольевна (fna79@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНДОВАСКУЛЯРНОЙ ХИРУРГИИ У ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ И ДИСТАЛЬНОЙ ФОРМОЙ ПОРАЖЕНИЯ АРТЕРИЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

## EFFECTIVENESS OF ENDOVASCULAR SURGERY IN PATIENTS WITH DIABETES MELLITUS AND DISTAL ARTERIAL LESION OF THE LOWER EXTREMITIES

**M. Temrezov  
T. Temerezov  
A. Badakhov  
R. Dinaev**

*Summary. The purpose of the study.* Determination of methods to increase the effectiveness of endovascular treatments for obliterating atherosclerosis of the lower extremity arteries in patients with critical lower limb ischemia (KINK) and diabetes mellitus (DM).

*Materials and methods.* The results of endovascular correction of blood flow in 60 patients with KINK were analyzed. 70 endovascular procedures were performed.

*Results.* Arterial patency and restoration of arterial blood flow were achieved in all patients. After 1 month, such results were preserved in 95 % of patients (n=57). The ankle-shoulder index increased significantly (to an average of 0.54), and the pressure measured by transcutaneous oximetry increased to 62.3. Six months later, blood flow in the reconstructed arteries was recorded in 86.6 % of cases (n=52), and after another 6 months — in 79.9 % of individuals. It was not possible to preserve a limb in three patients (gangrene as a result of occlusion at the tibial level). The mortality rate in the long-term period was 3.3 %.

*Conclusions.* Based on the results of the study, it can be concluded that the use of endovascular procedures at the popliteal and tibial levels is successful in patients with KINK and diabetes mellitus.

*Keywords:* atherosclerosis, diabetes mellitus, critical lower limb ischemia, endovascular surgery.

**Темрезов Марат Бориспиевич**

доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии, РГБ ЛПУ «Карачаево-Черкесская республиканская клиническая больница», Черкесск; «Северо-Кавказская Государственная академия», Черкесск  
mtemrezov@inbox.ru

**Темрезов Таулан Хасанович**

врач сердечно-сосудистый хирург, ассистент, РГБ ЛПУ «Карачаево-Черкесская республиканская клиническая больница», Черкесск; «Северо-Кавказская Государственная академия», Черкесск, Карачаево-Черкесская республика, Российская Федерация  
temreztau@gmail.com

**Бадахов Аузнаур Узейерович**

Аспирант, «Северо-Кавказская Государственная академия», Черкесск  
badakhov1987@mail.ru

**Динаев Рамазан Алиевич**

рентген хирург отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения, ассистент, РГБ ЛПУ «Карачаево-Черкесская республиканская клиническая больница», Черкесск; «Северо-Кавказская Государственная академия», Черкесск  
real.ramazan@mail.ru

*Аннотация. Цель исследования.* Определение методов по увеличению эффективности эндоваскулярных методов лечения облитерирующего атеросклероза артерий нижних конечностей у пациентов с критической ишемией нижних конечностей (КИНК) и сахарным диабетом (СД).

*Материал и методы.* Проанализированы результаты эндоваскулярной коррекции кровотока у 60 пациентов с КИНК. Было выполнено 70 эндоваскулярных процедур.

*Результаты.* У всех пациентов удалось добиться проходимости артерий и восстановления магистрального кровотока. Через 1 месяц такие результаты были сохранены у 95 % больных (n=57). Достоверно вырос показатель лодыжечно-плечевого индекса (в среднем до 0,54), а давление при измерении методом транскутанной оксиметрии — до 62,3. Спустя полгода кровотока в реконструированных артериях регистрировался в 86,6 % случаев (n=52), а еще через 6 мес. — у 79,9 % лиц. Не удалось сохранить конечность у трех больных (гангрена в результате окклюзии на берцовом уровне). Летальность в отдаленном периоде составила 3,3 %.

*Выводы.* По результатам проведенного исследования можно делать вывод об успешности использования эндоваскулярных процедур на подколенном и берцовом уровнях у пациентов с КИНК с сахарным диабетом.

*Ключевые слова:* атеросклероз, сахарный диабет, критическая ишемия нижних конечностей, эндоваскулярная хирургия.

## Введение

Сахарный диабет (СД) является одной из распространенных патологий на планете. Сейчас в мире насчитывается около 420 млн больных СД и еще у 325 млн человек выявляется нарушение толерантности к глюкозе [1, 2, 3]. Как известно, сахарный диабет заметно осложняет клиническое течение такого не менее распространенного заболевания, как облитерирующий атеросклероз артерий нижних конечностей. СД вкупе с указанной патологией характеризуется довольно тяжелым ходом болезни, началом в раннем возрасте, частым вовлечением в процесс глубокой бедренной артерии, подколенной артерии и артерий голени [1–3, 4–6]. У ряда пациентов болезнь протекает с наличием форм без болевого синдрома [3, 5, 6].

Развитие критической ишемии нижних конечностей (КИНК) при диабете повышается в несколько раз [2, 3]. Как правило, если реваскуляризирующие вмешательства при КИНК отсутствуют, это может привести к повышению уровню ампутаций в 2 и более раз, а летальность может достигать 60 % [4, 7]. Известно, что помимо хирургических методик реваскуляризации при облитерирующем атеросклерозе артерий нижних конечностей, осложненном СД, успешно применяются и внутрисосудистые методы влияния на артериальный кровоток. Баллонная ангиопластика и стентирование — это безопасные и высокоэффективные методы помощи при критической ишемии, сопряженной с диабетом [4, 7, 8]. В связи с тем, что при применении эндоваскулярных методов лечения достигается меньшая травматичность, эти вмешательства [5, 7, 9]. На сегодняшний день в мире существует достаточное количество работ по анализу результатов баллонной ангиопластики и стентирования у пациентов с КИНК, но при этом существуют спорные вопросы касательно применения их у лиц с СД.

*Цель исследования* — определение методов по увеличению эффективности эндоваскулярных методов лечения облитерирующего атеросклероза артерий нижних конечностей у пациентов с КИНК и СД.

## Материалы и методы

Мы проанализировали проведение эндоваскулярной коррекции кровотока у 60 больных с критической ишемией нижних конечностей и СД. У всех пациентов присутствовали боли в покое. Госпитализация и хирургическая коррекция проводились на базе отделения хирургии сосудов Карачаево-Черкесской Республиканской больницы с конца 2019 г. по февраль 2022 г.

У половины больных (n=30) выявлен некроз пальцев стопы, у части из которых при осмотре — гангрена стопы (n=4; 6,6 %). Средний возраст всех пациентов составил

58,5 лет (min — 42; max — 79). Гендерное соотношение равное. Все больные страдали СД II типа. У большинства пациентов среди сопутствующей патологии отмечали развитие артериальной гипертензии (n=45; 75 %) и ишемической болезни сердца (ИБС) (n=39; 65 %).

Помимо осмотра всем больным проводили ультразвуковое дуплексное сканирование артерий нижних конечностей с определением лодыжечно-плечевого индекса (ЛПИ), ультразвуковое исследование сердца (ЭХО-КГ) транскутанную оксиметрию и ангиографию. ЛПИ в среднем редко превышал значение 0,34 (min=0,28; max=0,4), а показатели транскутанной оксиметрии — 39,9 мм.рт.ст. (min=36; max=49).

Также было решено провести ДС брахиоцефальных артерий всем пациентам. Подавляющее количество пациентов (65 %) имели стенозирующее поражение как минимум одной внутренней сонной артерии. Из исследования были исключены лица со стенозом более 75 % или имеющие симптомный стеноз (транзиторная ишемическая атака или ишемический инсульт) в течение прошлых 6 месяцев. Помимо выраженного каротидного стеноза критериями исключения являлись уровень глюкозы крови натощак более 25 ммоль/л, острая почечная недостаточность и фракция выброса менее 25 % по результатам ЭХО-КГ.

Таким образом, было выполнено 70 эндоваскулярных процедур. Подавляющее количество — на подколенно-берцовом сегменте (n=50; 83,3 %). В бассейне бедренной артерии проведено 11 баллонных ангиопластик (18,3 %), изолированно на подколенной артерии у 14 лиц (23,3 %). У 14 больных мы провели стентирование на бедренном сегменте (23,3 %), у 7 на уровне подколенной артерии (11,6 %) и 12 пациентов на берцовом уровне (20 %).

В ближайшем послеоперационном периоде в течение полугода все пациенты получали стандартную двойную антиагрегантную терапию, а некоторым из них к лечению были добавлены препараты антикоагулянтной группы.

Пациентам с некрозом стопы сразу после проведения операции проводилась некрэктомия. Некоторым из них — первым этапом выполняли некрэктомию с дренированием раны, а затем во вторую очередь — операцию, направленную на реваскуляризацию. Анализ результатов работы проводили в ближайшем послеоперационном периоде и через 1 год (оценка по количеству летальности, жизнеспособности конечности и возможность ходьбы).

## Результаты

У всех пациентов удалось добиться проходимости артерий и восстановления магистрального кровотока.

Через 1 месяц такие результаты были сохранены у 95 % больных (n-57). У трех пациентов по данным ДС артерий выявлен тромбоз берцовых артерий и у одного пациента — эмболия подколенной артерии ниже коленной щели в результате мерцательной аритмии. Летальности в ближайшем периоде зафиксировано не было.

Крайне важно отметить, что значимо и достоверно вырос показатель ЛПИ (в среднем до 0,54), а давление при измерении методом транскутанной оксиметрии — до 62,3.

*Результаты в отдаленном периоде.* Спустя полгода кровотока в реконструированных артериях регистрировался в 86,6 % случаев (n-52), а еще через 6 мес. — у 79,9 % лиц. Не удалось сохранить конечность у трех больных (гангрена в результате окклюзии на берцовом уровне).

Летальность в отдаленном периоде составила 3,3 %, причем оба пациента умерли по причинам, не связанным с кровоснабжением нижних конечностей (ишемический и геморрагический инсульты).

Нам удалось проанализировать состояние 40 больных на отрезке 24 месяца после операции. Летальный исход зафиксирован у 3 пациентов (все от инфаркта миокарда), проходимость реконструированных сосудов составила 87 %.

**Клинический пример.** Пациентка Н., 78 лет, поступила в отделение хирургии сосудов с жалобами на боль в стопе в покое. При осмотре — гангрена 2 пальца левой стопы, состояние после ампутации 1 пальца стопы 1 год назад. Из анамнеза — в течение 13 лет СД 2 типа. При проведении ДС артерий ЛПИ слева не более 0,3. При ангиографии — стенозы поверхностных бедренных артерий (рис. 1), субтотальный стеноз задней берцовой артерии и окклюзия передней берцовой артерии (рис. 2). После дообследования и подготовки выполнена установка стента 5x80 мм в поверхностную БА на уровне среднего сегмента и баллонная ангиопластика артерий голени (рис. 1–5). Получен желаемый результат, кровоток восстановлен. Через 2 недели — грануляция тканей стопы.

### Обсуждение

Эндоваскулярная коррекция кровотока у пациентов с критической ишемией нижних конечностей и сахарным диабетом (СД) представляет собой один из ключевых подходов в современной сосудистой хирургии. Наше исследование, проведенное на базе Карачаево-Черкесской Республиканской больницы, подтвердило эффективность этого метода, что согласуется с результатами, представленными в других исследованиях. Например,



Источник: Составлено автором на основании собственных данных

Рис. 1. Стенозы поверхностных бедренных артерий при ангиографии



Источник: Составлено автором на основании собственных данных

Рис. 2. Субтотальный стеноз задней берцовой артерии и окклюзия передней берцовой артерии



Источник: Составлено автором на основании собственных данных

Рис. 3. Установка стента 5x80 мм в поверхностную бедренную артерию на уровне среднего сегмента



Источник: Составлено автором на основании собственных данных

Рис. 4. Баллонная ангиопластика артерий голени



Источник: Составлено автором на основании собственных данных

Рис. 5. Результат ангиопластики: восстановление кровотока

результаты, полученные нами, находятся в соответствии с принципами гликемического контроля, предложенными American Diabetes Association [1], и подчеркивают важность строгого контроля гликемии для улучшения сосудистых исходов.

Сравнивая полученные данные с работами Bloch-Damti и Bashan, мы видим, что подобные процедуры способны снизить влияние оксидативного стресса, который традиционно связывается с развитием инсулинорезистентности и осложнений при СД [2]. Это особенно актуально для пациентов, укупающих сахарным диабетом II

типа, чье состояние часто усложняется сопутствующими кардиоваскулярными заболеваниями, о чем также упоминалось в работе Fox et al. [3].

Наши результаты также согласуются с исследованиями Sugimoto et al. (2008), которые подчеркивают роль поздних гликированных продуктов соединений в развитии диабетической нейропатии, что делает своевременное вмешательство и контроль состояния сосудов крайне важными [4].

Исследование Causey et al. показало, что стадии поражения конечностей прямо коррелируют с результатами программ по предотвращению ампутации, что подтверждается и нашими результатами по сохранению конечностей у большинства пациентов [5]. Среди наших пациентов процент успешного восстановления кровотока составляет 79,9 % через год после коррекции, что соответствует международным стандартам успешности подобных процедур.

Темрезов и коллеги отмечали положительное влияние гибридных хирургических вмешательств на исходы лечения у пациентов с критической ишемией [6], и наши данные поддерживают данную точку зрения. Особо стоит отметить низкий процент послеоперационных и отдаленных летальных исходов, что может быть частично связано с эффективно выполненной эндоваскулярной коррекцией.

Наше исследование также показывает, что использование эндоваскулярных методов в лечении (подобно исследованиям Robinson et al., может быть эффективно интегрировано в программу комплексного сохранения конечности, что улучшает результаты и снижает частоту ампутаций [7].

Исходя из этого, можно заключить, что эндоваскулярная коррекция представляет собой значимое и перспективное направление в лечении пациентов с критической ишемией нижних конечностей и СД. Этот метод не только улучшает качество жизни пациентов, но и позволяет снизить частоту осложнений, связанных с нарушениями кровообращения. Наши результаты подчеркивают необходимость дальнейшего изучения и разработки индивидуализированных подходов, что согласуется с выводами, сделанными в международных исследованиях [8, 9].

#### Выводы

По результатам проведенного исследования можно делать вывод об успешности использования эндоваскулярных процедур на подколенном и берцовом уровнях у пациентов с КИНК с сахарным диабетом. Это также не идет вразрез с результатами работ ведущих отечественных и мировых хирургических школ.

Благодаря своевременному восстановлению кровотока в пораженной конечности становится возможным использование и других методик лечения инфекции (медикаментозная терапия нарушений, характерных для пациентов с СД). Безусловным фактором успешности лечения пациентов с КИНК на фоне СД является использование всех современных методов реваскуляризации

кровотока с использованием эндоваскулярных принципов лечения и гибридных технологий.

*Конфликт интересов:* все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. American Diabetes Association. Glycemic Targets: Standards of Medical Care in Diabetes / American Diabetes Association // *Diabetes Care*. — 2018. — V. 41 (Suppl 1). — P. S55–64.
2. Bloch-Damti A., Basham N. Proposed mechanisms for the induction of insulin resistance by oxidative stress / A. Bloch-Damti, N. Basham // *Antioxid Redox Signal*. — 2005. — V. 7. — P. 1553–1567.
3. Fox C.S., Golden C.H., Anderson C., et al. Update on prevention of cardiovascular disease in adults with type 2 diabetes mellitus in light of recent evidence: a scientific statement from the American Heart Association and the American Diabetes Association / C.S. Fox, C.H. Golden, C. Anderson et al. // *Diabetes Care*. — 2015. — V. 38. — P. 1777–1803.
4. Sugimoto K., Yasujima M., Yagihashi S. Role of advanced glycation end products in diabetic neuropathy / K. Sugimoto, M. Yasujima, S. Yagihashi // *Curr. Pharm. Des.* — 2008. — V. 14. — P. 953–961.
5. Causey M.W., Ahmed A., Wu B., et al. Society for Vascular Surgery limb stage and patient risk correlate with outcomes in an amputation prevention program / M.W. Causey, A. Ahmed, B. Wu et al. // *J Vasc Surg*. — 2016. — V. 63. — P. 1563–1573.
6. Темрезов М.Б., Коваленко В.И., Булгаров Р.М. и др. Гибридные хирургические вмешательства у больных с критической ишемией нижних конечностей / М.Б. Темрезов, В.И. Коваленко, Р.М. Булгаров и др. // *Российский медицинский журнал*. — 2017. — № 23(5). — С. 233–236.
7. Robinson W.P., Loretz L., Hanesian C. Society for Vascular Surgery Wound, Ischemia, foot infection (Wifi) score correlates with the intensity of multimodal limb treatment and patient-centered outcomes in patients with threatened limbs managed in a limb preservation center / W.P. Robinson, L. Loretz, C. Hanesian // *J Vasc Surgery*. — 2017. — V. 66. — P. 488–498.
8. Hans S.S., Santis D. De, Siddiqui R., et al. Results of endovascular therapy and aortobifemoral grafting for TransAtlantic Inter-Society type C and D aortoiliac occlusive disease / S.S. Hans, D. De Santis, R. Siddiqui et al. // *Surgery*. — 2008. — V. 144 (4). — P. 583–589.
9. Ozkan U., Oguzkurt L., Tercan F. Technique, Complication and Long-term Outcome for Endovascular Treatment of Iliac Artery Occlusion / U. Ozkan, L. Oguzkurt, F. Tercan // *Radiol*. — 2010. — V. 33 (1). — P. 18–24.

© Темрезов Марат Бориспиевич (mtemrezov@inbox.ru); Темрезов Таулан Хасанович (temreztau@gmail.com);  
Бадахов Аузнаур Узейерович (badaxov1987@mail.ru); Динаев Рамазан Алиевич (real.ramazan@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ РОТАЦИОННОЙ ТРОМБО-АТЕРОЭКТОМИИ УСТРОЙСТВОМ JETSTREAM + РСВ ЛЕЧЕНИИ ОСТРОЙ ИШЕМИИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ: НАШ КЛИНИЧЕСКИЙ ОПЫТ

## EFFECTIVENESS OF ROTARY THROMBO-ATHERECTOMY WITH JETSTREAM + DEVICE IN THE TREATMENT OF ACUTE LOWER LIMB ISCHEMIA: OUR CLINICAL EXPERIENCE

**M. Temrezov**  
**T. Temerezov**  
**R. Dinaev**  
**R. Bulgarov**

*Summary. Introduction.* Acute arterial ischemia of the lower extremities is an urgent public health problem that is widespread among patients worldwide.

*Methods.* In this article, we present the case of a 72-year-old patient with acute lower limb ischemia with a history of stage III chronic ischemia, coronary heart disease, and type 2 diabetes mellitus. Angiography of the lower extremities revealed occlusion of the distal third of the superficial femoral artery on the right. Taking into account all the factors, it was decided to perform a rotational thrombo-atherectomy using a Jetstream device, as well as subsequent angioplasty with a drug-coated balloon catheter.

*Results.* The use of an integrated treatment approach, including minimally invasive surgery, optimal conservative therapy and lifestyle changes, significantly improved the patient's quality of life and preserved the lower limb without negative consequences for her health.

*Conclusion.* The effectiveness of Jetstream endovascular rotational thrombo-atherectomy in combination with an integrated approach to the treatment of acute lower limb ischemia confirms the importance of early diagnosis and interventional intervention to prevent serious complications.

*Keywords:* rotary thrombo-atherectomy, Jetstream device, PCB, treatment, acute ischemia, lower extremities, clinical experience, vascular surgery, angioplasty, thromboembolism, medical technologies.

**Темрезов Марат Бориспиевич**

доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии, заведующий кафедрой госпитальной хирургии с курсом анестезиологии и реаниматологии, РГБ ЛПУ «Карачаево-Черкесская республиканская клиническая больница», Черкесск, «Северо-Кавказская Государственная академия», Черкесск  
 mtemrezov@inbox.ru

**Темрезов Таулан Хасанович**

врач сердечно-сосудистый хирург, ассистент, РГБ ЛПУ «Карачаево-Черкесская республиканская клиническая больница», Черкесск, «Северо-Кавказская Государственная академия», Черкесск, Карачаево-Черкесская республика, Российская Федерация  
 temreztou@gmail.com

**Динаев Рамазан Алиевич**

рентген хирург отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения, ассистент кафедры госпитальной хирургии с курсом анестезиологии и реаниматологии, РГБ ЛПУ «Карачаево-Черкесская республиканская клиническая больница», Черкесск, «Северо-Кавказская Государственная академия», Черкесск  
 real.ramazan@mail.ru

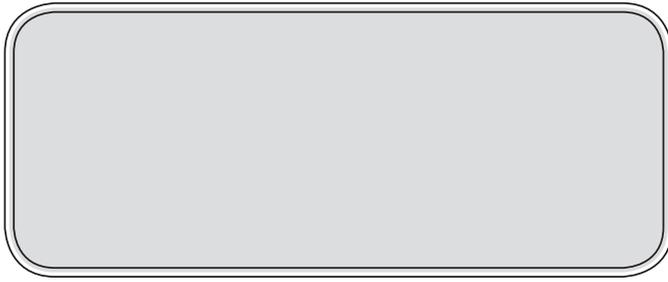
**Булгаров Расул Сафарбиевич**

заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения, РГБ ЛПУ «Карачаево-Черкесская республиканская клиническая больница», Черкесск  
 kchrcl@mail.ru

*Аннотация. Введение.* Острая ишемия артерий нижних конечностей представляет собой актуальную проблему здравоохранения, имеющую широкое распространение среди пациентов по всему миру.

*Методы.* В данной статье мы представляем случай 72-летней пациентки с острой ишемией нижних конечностей, имеющей в анамнезе хроническую ишемию III стадии, ишемическую болезнь сердца и сахарный диабет 2 типа. На основании ангиографии нижних конечностей была выявлена окклюзия дистальной трети поверхностной бедренной артерии справа. С учетом всех факторов было принято решение о проведении ротационной тромбо-атероэктомии с использованием устройства системы Jetstream, а также последующей ангиопластики баллонным катетером с лекарственным покрытием.

*Результаты.* Применение комплексного подхода к лечению, включающего малоинвазивное оперативное вмешательство, оптимальную консервативную терапию и изменения в образе жизни, позволило значительно улучшить качество жизни пациентки и сохранить нижнюю конечность без негативных последствий для ее здоровья.



### Введение

Острой ишемией конечности называется любое внезапное снижение или полное прекращение перфузии конечности, что создает потенциальную угрозу ее жизнеспособности. Основными причинами острой ишемии являются острые тромбозы (40 %), эмболии (37 %), тромбозы протезов и зон эндоваскулярных вмешательств (до 15 %), а также тромбозы аневризм периферических артерий и травмы артерий [1].

Распространенность артериального тромбоза артерий нижних конечностей зависит от различных факторов, включая возраст, пол, наличие сахарного диабета, курение, гипертонию и гиперхолестеринемию. Артериальный тромбоз наблюдается чаще у пожилых людей и у лиц с сопутствующими заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

По данным TASC II, распространенность ОИНК в экономически развитых странах составляет примерно 140 случаев на 1 млн населения ежегодно. На долю ОИНК тромботического генеза приходится около 40 % случаев [2, 3]. Артериальный тромбоз артерий нижних конечностей является серьезным состоянием, которое при некорректном лечении может привести к ампутации конечности.

Лечение артериального тромбоза артерий нижних конечностей включает консервативные методы (например, антикоагулянты, тромболитическая терапия) и хирургические вмешательства (например, ангиопластика, стентирование, шунтирование). В некоторых случаях может потребоваться ампутация конечности.

Разработка и внедрение систем эндоваскулярной ротационной атерэктомии в сочетании с применением технологий, с использованием баллонов с лекарственным покрытием являются перспективной стратегией для обеспечения хорошего отдаленного прогноза для пациентов как с острой ишемией артерий нижних конечностей, так и с ХИНК. Так, в рандомизированном исследовании JET-RANGER (JETstream Atherectomy Followed by RANGER Paclitaxel-Coated Balloons versus Balloon Angioplasty Followed by Paclitaxel-Coated Balloons: JET-RANGER Study), проводившемся в 11 клиниках США, было продемонстрировано превосходство JET+PCB стратегии —

*Заключение.* Эффективность эндоваскулярной ротационной тромбо-атерэктомии системы Jetstream в сочетании с комплексным подходом к лечению острой ишемии нижних конечностей подтверждает важность ранней диагностики и интервенционного вмешательства для предотвращения серьезных осложнений.

*Ключевые слова:* ротационная тромбо-атерэктомия, устройство Jetstream, PCB, лечение, острая ишемия, нижние конечности, клинический опыт, сосудистая хирургия, ангиопластика, тромбоз эмболия, медицинские технологии.

Jetstream (JET) в сочетании с использованием баллона с лекарственным покрытием (PCB), по сравнению с ангиопластикой традиционным баллонным катетером (РТА) с последующим использованием PCB для лечения заболеваний артерий нижних конечностей. Общая частота стентирования в качестве спасательной операции составила 17 % (0 стентирований JET + DCB против 50 % стентирований PCB,  $P < 0,0001$ ). Для оценки метода реваскуляризации без последующего стентирования был проведен анализ выживаемости по Каплан-Мейеру. Отсутствие необходимости последующего стентирования на протяжении 1 года составило 100 и 43,8 % для JET+PCB по сравнению с РТА+PCB ( $p < 0,0001$ ) [4, 5].

*Цель исследования* — продемонстрировать современную и актуальную тактику малоинвазивной эндоваскулярной реваскуляризации поверхностной бедренной артерии (ПБА) у 72-летней пациентки с острой ишемией нижней конечности, имеющей в анамнезе хроническую ишемию нижних конечностей III стадии, сахарный диабет 2 типа и ишемическую болезнь сердца.

### Материалы и методы

#### Клинический случай

Пациентка М 72 лет 17.05.2024 обратилась в региональный сосудистый центр с жалобами на островозникшую боль и похолодание правой нижней конечности, ниже колена.

Осмотрена сосудистым хирургом. Ввиду наличия критической ишемии правой нижней конечности, госпитализирована в экстренном порядке для дообследования и определения дальнейшей тактики лечения.

#### Информация о пациенте

Боль в нижних конечностях беспокоит в течение нескольких лет, дистанция без болевой ходьбы постепенно уменьшалась и к 2024 году сократилась до 100 м. За медицинской помощью не обращалась.

Длительный анамнез АГ с максимальными подъемами до 240/120 мм.рт ст., на фоне оптимальной медикаментозной терапии адаптирован к 130/70.

Так же из анамнеза известно, что ранее были перенесены два эпизода инфаркта миокарда от 2006 г., 2013 г.

(реваскуляризация не выполнялась), осложнившиеся сердечной недостаточностью. Так же известно, что страдает сахарным диабетом 2 типа (инсулинозависимый) в течение 10 лет, первичной открытоугольной глаукомой II–III ст. обоих глаз; артификацией обоих глаз. Витрепролиферативным синдромом левого глаза. Непролиферативной диабетической ретинопатией обоих глаз.

Вредные привычки отрицает.

#### *Предварительный диагноз*

Основное заболевание:

Атеросклероз. Диабетическая ангиопатия. Оклюзия бедренно-подколенных, берцовых артериальных сегментов обеих нижних конечностей.

Осложнения основного заболевания: ХИНК 3 ст. справа. Атеротромбоз?

Сопутствующие заболевания: ИБС. Стенокардия напряжения ФК 2. ПИКС (ОИМ 2006, 2013 гг.). Гипертоническая болезнь III ст., Риск сердечно-сосудистых осложнений 4. Сахарный диабет, тип 2. Первичная открытоугольная глаукома. II–III ст. обоих глаз; артификация обоих глаз. Витрепролиферативный синдром левого глаза. Непролиферативная диабетическая ретинопатия обоих глаз.

#### *Результаты физикального осмотра*

Уровень сознания по шкале Глазго: 15 баллов. Кожные покровы: телесного цвета, обычной влажности, без патологических высыпаний. Отеки: не определяются. Слизистые оболочки: розовые, без патологических высыпаний. Состояние подкожно-жировой клетчатки: нормальное. Лимфатические узлы: не увеличены. Костно-мышечная система: без патологических изменений. Результаты аускультации легких: дыхание проводится по всем отделам, хрипов нет. Результаты перкуссии и аускультации сердца: перкуторно границы сердца не изменены, аускультативно тоны сердца ясные, ритмичные, патологических шумов не определяется. Результаты пальпации органов брюшной полости с определением размеров печени и селезенки: пальпация органов брюшной полости безболезненна, печень по краю реберной дуги, селезенка не пальпируется. Частота сердечных сокращений: 75 уд. в 1 мин. Пульс: 75 уд. в 1 мин. Свойства пульса: Нормальный, ритмичный. Систолическое давление 130 мм.рт.ст. Диастолическое давление 70 мм.рт.ст. Рост: 168 см. Масса тела: 88 кг. Индекс массы тела: 31,18 кг/м<sup>2</sup>. Частота дыхательных движений: 17 в 1 мин. Насыщение крови кислородом (сатурация): 98 %. Локальный статус: Кожные покровы нижних конечностей физиологической окраски, правая нижняя конечность прохладная на голени и стопе. Отека и трофических изменений н/к нет. Пульсация артерий н/к: левой — на ОБА

определяется, на ПКА резко ослаблена, дистальнее пульсация отсутствует; правой — на ОБА определяется, дистальнее — нет.

Семейный и аллергологический анамнез не отягощён.

При проведении осмотра данной пациентке выставлена первая степень острой ишемии согласно классификации 2002 г. И.И. Затевахина с соавт.

В клинических рекомендациях говорится, что, при 1-й степени ишемии и полной уверенности в диагнозе эмболии, стабильном состоянии пациента, необходимо выполнить экстренную реваскуляризацию. А в контексте диагностической точности цифровая субтракционная ангиография (ЦСА) до сих пор считается золотым стандартом обследования при ОИК [5]. У пациентов с острой ишемией конечностей рекомендуется рассмотреть возможность выполнения аспирационной и механической тромбэктомии [6]. Опираясь на эти данные, было принято решение о немедленной ангиографии нижних конечностей, с последующим определением дальнейшей тактики ведения пациента.

#### *Результаты медицинского обследования*

Обзорная рентгенография органов грудной клетки: Легкие без признаков очаговых и инфильтративных изменений. Атеросклероз.

Электрокардиографическое исследование: Синусовый ритм с ЧСС 85 в мин. Электрическая ось сердца отклонена влево. Изменения в миокарде нижней передне-верхушечной области левого желудочка на фоне рубцов.

Биохимический анализ крови: Общий белок — 69,0 г/л, Альбумин — 40,3 г/л, Остат. азот — 26,3 ммоль/л, Мочевина — 8,5 ммоль/л, Креатинин — 76,4 мкмоль/л, Билирубин общ. — 14,7 мкмоль/л, АЛТ — 18,5 Е/л, АСТ — 23,2 Е/л, Глюкоза — 9,9 ммоль/л

Общий анализ крови: эритроциты — 4,46, гематокрит — 37,4%, тромбоциты — 96, лейкоциты — 10,6, гемоглобин — 128 г/л, скорость оседания эритроцитов — 19 мм/ч

Коагулограмма: протромбиновый индекс — 92 %, протромбиновое время — 14 сек, Активированное частичное тромбопластиновое время — 26 с, международное нормализованное отношение — 1,08.

#### *Оперативное вмешательство*

По результатам ангиографии нижних конечностей выявлено: окклюзия дистальной трети поверхностной бедренной артерии справа.

Интраоперационно принято решение об эндоваскулярной реваскуляризации с применением ротационной

тромбо-атерозктомии с использованием устройства Jetstream.

Под местной анестезией произведена ретроградная пункция ОБА справа; по минипроводнику установлен интродьюсер 7Fr. Проводник 0,014 проведен за зону окклюзии дистальную треть передней большеберцовой артерии. По проводнику в зону окклюзии подведен катетер для ротационной аспирационной тромбо-атерозктомии Jetstream XC 2,4/3,4 мм 7Fr -120 см. Выполнено 2 прохождения зоны окклюзии в режиме TIP min, и 2-в режиме TIP max. Кровоток по ПБА восстановлен. Выполнена баллонная ангиопластика ПБА и подколенной артерии баллоном с лекарственным покрытием 5,0x200 мм под инфляцией 6–8 атм., экспозицией 4 мин, дефляция. На контрольной ангиографии: кровоток полностью восстановлен полностью, контрастирование гомогенное, признаков диссекции и эмболизации не обнаружено, резидуальный стеноз менее 10 %. Результаты ангиографии «до» и «после» представлены на рисунке 1.

В результате применения стратегии ротационной тромбо-атерозктомии устройством Jetstream+PCB был получен хороший непосредственный ангиографический результат, дополнительная имплантация стента не потребовалась. Операционный и ранний послеоперационный период протекали без особенностей. Пациенте были даны рекомендации по изменению образа жизни с использованием дозированных физических нагрузок тренировочной ходьбы, занятиями ЛФК, Гиполипидемическая диета, двойная антитромботическая терапия кардиомагнил 75 мг (1 раз в сутки) + ривораксобан 2,5 мг (2 раза в сутки), дополнительно медикаментозное лечение сопутствующей патологии. В ближайший послеоперационный период (3 мес.) без особенностей, ухудшения состояние не наблюдалось. При плановом визите через 3 месяца, пациентка жалоб не предъявляет. В результате лечения отмечается положительная динамика в виде увеличения дистанции безболевого ходьбы >600 м, пульсация на бедренных артериях и стопах опреде-

ляется. По данным контрольного дуплексного сканирования артерий нижних конечностей магистральный кровоток на всем протяжении артерий бедра и голени с обеих сторон.

#### Заключительный клинический диагноз

Основное заболевание: Атеросклероз. Диабетическая ангиопатия.

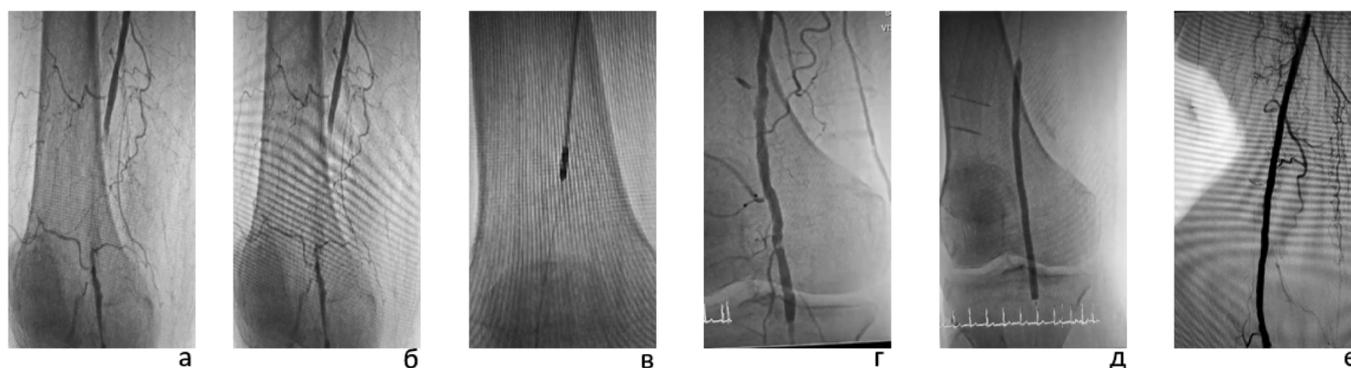
Окклюзия бедренно-подколенного, сегмента правой нижней конечности. Состояние после ротационной тромбо-атерозктомии и ТЛБАП ПБА справа от 24.05.2024 код по МКБ: I70

Осложнения основного заболевания: ХИНК3 ст справа.

Сопутствующие заболевания: ИБС. Стенокардия напряжения ФК 2. ПИКС (ОИМ 2006, 2013 гг.). Гипертоническая болезнь III ст, риск сердечно-сосудистых осложнений 4. Сахарный диабет, тип 2. Первичная открытоугольная глаукома. II–III ст. обоих глаз; артефакция обоих глаз. Витрепролиферативный синдром левого глаза. Непролиферативная диабетическая ретинопатия обоих глаз.

#### Обсуждение

Таким образом, ротационная тромбо-атерозктомия Jetstream представляет собой перспективный подход к лечению сосудистых заболеваний, который отличается высокой эффективностью и безопасностью в клиническом применении. С появлением этой инновационной технологии в нашей больнице открываются новые возможности для улучшения результатов лечения пациентов с тромбозом, атеросклерозом и кальцинозом артерий нижних конечностей. Выбор тактики эндоваскулярной реваскуляризации окклюдированного поражения является очень важным этапом в лечении острой ишемии и ХИНК. Так в Проспективном многоцентровом исследовании ротационной атерозктомии Хен Ки Ким,



Источник: Составлено автором на основании собственных данных

Рис. 1. а — тромботическая окклюзия д/3 ПБА; б — проводниковая реканализация д/3 ПБА; в — ротационная тромбо-атерозктомия; г — результат после ротационной тромбо-атерозктомии; д — баллонная ангиопластика; е — финальный результат

с соавт. Всего в исследование были включены 150 пациентов (91,2 % мужчин; средний возраст 69,8 года; 66,2 % с сахарным диабетом) с de novo или рестенозическими поражениями инфраингвинальных артерий. Средняя длина поражения составила 17,2 см, 75,0 % были окклюзирующими, а 38,2 % имели выраженную кальцификацию. Типы поражения были склеротическими (64,7 %), тромбосклеротическими (20,6 %), тромботическими (8,8 %) и внутрикостными (5,9 %). Дополнительный DCB использовался у 86,8 % пациентов. Показатели первичной проходимости (PPR) и CD-TLR за 12 месяцев составили 81,6 % и 90,1 % соответственно. Частота CD-TLR за 12 месяцев была значительно выше в группах со склерозом и тромбосклерозом, чем в группе с тромботическим поражением (100 % и 100 % против 66,7 %;  $P = 0,001$ ). 12-месячный PPR был достоверно лучше в группах Трансатлантического межобщественного консенсуса (TASC) A и B, чем в группах TASC C и D ( $P = 0,02$ ). 12-месячный PPR значительно улучшается после использования DCB или установки стента, чем после использования простого баллона ( $P = 0,01$ ). Серьезных нежелательных явлений, включая смерть, связанную с процедурой, инфаркт миокарда или обширную ампутацию, не было. Результаты этого исследования продемонстрировали безопасность и эффективность устройства для атерэктомии Jetstream при сложных инфраингвинальных поражениях. [6]

Результатом анализа исследований стало превосходство первой тактики лечения над второй. Так, первичная проходимость ПБА через 36 мес. в группе лечения с применением РСВ была примерно на 10 % выше, чем в группе лечения с имплантацией BMS [7]. Одной из причин рестеноза является медленно развивающаяся гиперплазия неоинтимы.

Превосходство применения баллонов с лекарственным покрытием было продемонстрировано в рандо-

мизированном исследовании IN.PACT Global, в которое было включено 1535 пациентов

Средняя длина поражения составила  $12,1 \pm 9,5$  см; 18 % пациентов имели рестеноз в ранее имплантированном стенте, у 35,5 % — стено-окклюзирующее поражение и у 68,7 % было первичное протяженное кальцинированное поражение бедренно-подколенного артериального сегмента. Период наблюдения составил 5 лет. Сохранение первичной проходимости артерии составило 77,1 %; в течение 5 лет не было зарегистрировано ни одной высокой ампутации целевой нижней конечности [8].

### Заключение

Наш клинический случай демонстрирует успешную реваскуляризацию атеро-тромботической окклюзии в ПБА справа с использованием устройства Jetstream+PCB стратегии и показывает хороший ангиографический результат как непосредственно после операции, так и в ближайшем отдаленном периоде (3 мес). Выбор оптимального малоинвазивного хирургического метода лечения в сочетании с оптимальной медикаментозной терапией и комплексом немедикаментозных методов лечения (дозированная физическая нагрузка, тренировочная ходьба, лфк) способствовали увеличению дистанции без болевой ходьбы, что способствовало уменьшению дальнейших проявлений ХИНК у данной пациентки.

*Информированное согласие от пациента.* Получено письменное добровольное информированное согласие на публикацию описания клинического случая, на использование медицинских данных в научных целях.

*Конфликт интересов:* все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бокерия Л.А., Покровский А.В. Национальные рекомендации по диагностике и лечению заболеваний артерий нижних конечностей / Л.А. Бокерия, А.В. Покровский. // 2019.
2. Mahe G., Jaquinandi V. Diagnosis of lower limb peripheral artery disease / G. Mahe, V. Jaquinandi // Presse Med. — 2017. — Vol. 47, № 1. — P. 47–55. DOI: 10.1016/j.pmed.2017.09.021.
3. Михайлов И., Кунгурцев Е., Ефименко П. Хирургическое лечение больных с эмболией артерий нижних конечностей и длительными сроками ишемии / И. Михайлов, Е. Кунгурцев, П. Ефименко // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. — 2013. — Т. 4. — С. 33–36.
4. Shammam N.W., Purushottam B., Shammam W.J., et al. Jetstream Atherectomy Followed by Paclitaxel-Coated Balloons versus Balloon Angioplasty Followed by Paclitaxel-Coated Balloons: Twelve-Month Exploratory Results of the Prospective Randomized JET-RANGER Study / N.W. Shammam, B. Purushottam, W.J. Shammam, et al. // Vasc Health Risk Manag. — 2022. — Vol. 18. — P. 603–15. DOI: 10.2147/VHRM.S371177.
5. Weiss C.R., Azene E.M., Majdalany B.S., AbuRahma A.F., Collins J.D., Francois C.J., et al. ACR Appropriateness Criteria(R) Sudden Onset of Cold, Painful Leg / C.R. Weiss, E.M. Azene, B.S. Majdalany, et al. // J Am Coll Radiol. — 2017. — Vol. 14. — P. S307e13.
6. Kim H.K., Lee J., Yun W.S., Yang S.S., Lee S.S., Park U.J., Hwang H.P., Joh J.H. Prospective, Multicenter Study of Rotational Atherectomy with Antirestenotic Therapy for Infrainguinal Arterial Disease / H.K. Kim, J. Lee, W.S. Yun, et al. // Ann Vasc Surg. — 2023. — Vol. 93. — P. 291–299. DOI: 10.1016/j.avsg.2023.01.048. Epub 2023 Feb 4. PMID: 36746269.
7. Wissgott C., Kamusella P., Andresen R. Recanalization of acute and subacute venous and synthetic bypass-graft occlusions with a mechanical rotational catheter / C. Wissgott, P. Kamusella, R. Andresen // Cardiovasc Intervent Radiol. — 2013. — Vol. 36, № 4. — P. 936–942.
8. Zeller T., Brodmann M., Ansel G.M., et al. Paclitaxel-coated balloons for femoropopliteal peripheral arterial disease: final five-year results of the IN.PACT Global Study / T. Zeller, M. Brodmann, G.M. Ansel, et al. // EuroIntervention. — 2022. — Vol. 18, № 11. — P. e940–8. DOI: 10.4244/EIJ-D-21-01098.

# ВЛИЯНИЕ ИНГАЛЯЦИОННЫХ КОРТИКОСТЕРОИДОВ НА СОСТОЯНИЕ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ ПОЛОСТИ РТА У ПАЦИЕНТОВ С ТУБЕРКУЛЕЗОМ

## THE IMPACT OF INHALED CORTICOSTEROIDS ON THE ORAL MUCOSA IN PATIENTS WITH TUBERCULOSIS

**V. Khanaliev  
S. Guseynova  
T. Abakarov  
G. Budaichiev**

*Summary.* Inhaled corticosteroids (ICS) are widely used for the treatment of respiratory diseases; however, their impact on the oral mucosa in patients with active tuberculosis remains insufficiently studied. This study assessed the effects of ICS on the oral mucosa in 120 patients divided into two groups: the main group (receiving ICS) and the control group. The results revealed significant alterations in the oral mucosa in the main group, including clinical manifestations (hyperemia, atrophy, erosions, candidiasis), microbiological dysbiosis, histological changes in the epithelium, and reduced protective properties of saliva. A significant correlation was established between the duration of ICS therapy and the severity of mucosal changes. These findings highlight the need for preventive and corrective measures to mitigate the side effects of ICS in this patient population.

*Keywords:* inhaled corticosteroids, tuberculosis, oral mucosa, dysbiosis, biochemical changes, histological analysis, candidiasis.

**Ханалиев Висампаша Юсупович**

д.м.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «Дагестанский  
государственный медицинский университет»

Минздрава России, Махачкала

**Гусейнова Сабина Тагировна**

д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Дагестанский  
государственный медицинский университет»

Минздрава России, Махачкала

vagabova80@mail.ru

**Абакаров Тагир Абакарович**

к.м.н., доцент ФГБОУ ВО «Дагестанский  
государственный медицинский университет»

Минздрава России, Махачкала

tagir.abakarovich@mail.ru

**Будайчиев Гасан Магомед-Алиевич**

к.м.н., ассистент ФГБОУ ВО «Дагестанский  
государственный медицинский университет»

Минздрава России, Махачкала

gasan.budaychiev005@mail.ru

*Аннотация.* Ингаляционные кортикостероиды (ИКС) широко применяются для лечения респираторных заболеваний, однако их влияние на слизистую оболочку полости рта у пациентов с активным туберкулезом остается недостаточно изученным. В данном исследовании оценено влияние ИКС на состояние слизистой оболочки полости рта у 120 пациентов, разделенных на основную группу (получавшую ИКС) и контрольную группу. Результаты показали выраженные изменения слизистой оболочки у основной группы, включая клинические проявления (гиперемия, атрофия, эрозии, кандидоз), микробиологический дисбиоз, гистологические изменения эпителия и снижение защитных свойств слюны. Установлена значимая корреляция между длительностью терапии ИКС и степенью изменений слизистой. Полученные данные подчеркивают необходимость профилактики и коррекции побочных эффектов ИКС у данной категории пациентов.

*Ключевые слова:* ингаляционные кортикостероиды, туберкулез, слизистая оболочка полости рта, дисбиоз, биохимические изменения, гистологический анализ, кандидоз.

### Актуальность

**И**нгаляционные кортикостероиды (ИКС) широко используются в клинической практике для лечения различных заболеваний дыхательной системы, включая бронхиальную астму и хроническую обструктивную болезнь легких (ХОБЛ) [1]. Эти препараты обладают выраженным противовоспалительным действием, что делает их незаменимыми для контроля симптомов и улучшения качества жизни пациентов с респиратор-

ными патологиями [2]. В последние годы применение ИКС также нашло отражение в комбинированной терапии пациентов с активным туберкулезом легких, особенно в случаях, сопровождающихся обструктивными нарушениями дыхательных путей [3]. Несмотря на доказанную эффективность ИКС в улучшении легочной функции и снижении выраженности воспалительного процесса, их влияние на состояние слизистой оболочки полости рта остается недостаточно изученным [4]. Установлено, что побочные эффекты ИКС со стороны по-

лости рта включают развитие кандидоза, атрофических изменений эпителия и нарушение барьерной функции слизистой оболочки [5]. Эти эффекты могут усугубляться у пациентов с активной туберкулезной инфекцией, так как у этой категории больных часто наблюдаются выраженное ослабление иммунной системы и изменения микробного состава слизистых оболочек [6]. Длительное использование ИКС при сочетанных патологиях, таких как туберкулез и обструктивные заболевания легких, может приводить к нарушению локального иммунитета, увеличению риска вторичных инфекций и развитию структурных изменений в слизистой оболочке полости рта [7]. С учетом высокой распространенности туберкулеза и широкого применения ИКС, исследование их влияния на состояние слизистой оболочки полости рта представляется актуальным и важным как с точки зрения стоматологии, так и фтизиатрии.

### Цель исследования

Целью данного исследования является оценка влияния ингаляционных кортикостероидов на состояние слизистой оболочки полости рта у пациентов с активной формой туберкулеза.

### Материал и методы исследования

В исследование были включены 120 пациентов с диагнозом активного туберкулеза легких, проходящих лечение в специализированном стационаре. Все участники были разделены на две группы: основную (n=80), получавшую терапию ингаляционными кортикостероидами в сочетании с противотуберкулезными препаратами, и контрольную (n=40), получавшую только стандартное противотуберкулезное лечение. Исключались пациенты с сопутствующими системными заболеваниями, влияющими на состояние слизистой оболочки полости рта, а также с ранее установленными стоматологическими патологиями. Клиническое обследование включало визуальный осмотр полости рта с оценкой состояния слизистой оболочки на наличие гиперемии, атрофии, эрозий, язв и кандидозных поражений. Использовалась шкала оценки степени поражения слизистой, включающая баллы от 0 до 3, где 0 — отсутствие изменений, а 3 — выраженные патологические проявления. Дополнительно проводился сбор данных о субъективных жалобах пациентов, таких как сухость, жжение или болезненность в полости рта. Микробиологическое исследование включало взятие мазков со слизистой оболочки щек и языка с последующим культивированием и идентификацией микрофлоры. Определялась численность представителей нормальной микробиоты, а также наличие патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, таких как *Candida albicans* и *Staphylococcus aureus*. Для уточнения изменений микробиома применялась методика секвенирования 16S рРНК. Гистологический ана-

лиз проводился на биопсийном материале, полученном у 20 пациентов из каждой группы. Оценивались структура эпителия слизистой оболочки, толщина рогового слоя, степень воспалительной инфильтрации и наличие атрофических изменений. Использовались окраски гематоксилином и эозином, а также иммуногистохимические методы для выявления экспрессии маркеров воспаления, таких как интерлейкин-6 и фактор некроза опухоли альфа. Биохимическое исследование слюны включало определение уровня секреторного иммуноглобулина А, лактоферрина и активности лизоцима. Эти показатели оценивались до начала лечения и через три месяца приема ИКС. Дополнительно проводился анализ уровня рН слюны и её буферной емкости для оценки защитных свойств ротовой жидкости. Статистический анализ данных осуществлялся с использованием программного обеспечения SPSS. Для сравнения параметров между группами применялись критерии Стьюдента и Манна-Уитни. Корреляционный анализ использовался для изучения взаимосвязей между длительностью применения ИКС и степенью изменений слизистой оболочки.

### Результаты исследования

Клиническое обследование позволило выявить существенные различия в состоянии слизистой оболочки полости рта между основной и контрольной группами (табл. 1). У пациентов, получавших ингаляционные кортикостероиды (ИКС), чаще регистрировались патологические изменения, включая гиперемию, атрофические процессы, эрозии и кандидозные поражения. Частота этих симптомов значительно возрастала с увеличением продолжительности терапии ИКС, что свидетельствует о накопительном эффекте воздействия препаратов на слизистую оболочку. Контрольная группа, получавшая только стандартное противотуберкулезное лечение, демонстрировала минимальные изменения слизистой оболочки, что подчеркивает отсутствие влияния противотуберкулезной терапии на данный аспект.

У пациентов основной группы средний балл по шкале патологических изменений оказался значительно выше, чем у контрольной группы. Примечательно, что гиперемия и кандидозные поражения были наиболее частыми нарушениями в основной группе, что, вероятно, связано с непосредственным воздействием кортикостероидов на местный иммунитет и эпителиальные ткани. Атрофические изменения и эрозии также были широко распространены, что может отражать структурные изменения эпителия под воздействием длительной терапии.

Представленные данные демонстрируют явное преобладание патологических изменений слизистой оболочки полости рта у пациентов основной группы по сравнению с контрольной. Уровень гиперемии был зафиксирован у 65 % пациентов, получавших ИКС, что

Таблица 1.

Показатели состояния слизистой оболочки полости рта

Показатель состояния слизистой оболочки	Основная группа (n=80), %	Контрольная группа (n=40), %	P-значение
Гиперемия	65	20	<0.001
Атрофические изменения	48	15	<0.001
Эрозии	35	5	<0.001
Кандидозные поражения	53	8	<0.001
Оценка по шкале (средний балл)	2.4 ± 0.6	0.8 ± 0.4	<0.001

более чем в три раза превышает соответствующий показатель у пациентов контрольной группы. Кандидозные поражения были выявлены у 53 % пациентов основной группы, что указывает на значительное нарушение микробного баланса слизистой оболочки. Анализируя атрофические изменения и эрозии, можно отметить, что они встречались у почти половины пациентов основной группы (48 %) и трети (35 %), соответственно. Эти данные подчеркивают существенные структурные изменения тканей полости рта под влиянием ИКС. У контрольной группы такие нарушения наблюдались редко (15 % и 5 %, соответственно), что подтверждает минимальное воздействие стандартной противотуберкулезной терапии на состояние слизистой.

Микробиологическое исследование подтвердило наличие значительных различий в составе микрофлоры слизистой оболочки полости рта между основной и контрольной группами (табл. 2). У пациентов, получавших терапию ИКС, выявлено снижение численности представителей нормальной микрофлоры, таких как *Streptococcus salivarius* и *Lactobacillus spp.*, в то время как численность патогенных микроорганизмов, включая *Candida albicans* и *Staphylococcus aureus*, была значительно выше. Данные изменения свидетельствуют о дисбалансе микробиома, характерном для дисбиоза. Уменьшение количества нормальной микрофлоры и рост патогенных микроорганизмов коррелировали с длительностью применения ИКС, что дополнительно подтверждает влияние препаратов на состояние микробной среды слизистой оболочки полости рта.

Снижение численности нормальной микрофлоры более чем вдвое, наблюдаемое в основной группе, указывает на существенное нарушение микробиологического гомеостаза слизистой оболочки. Так, концентрация *Streptococcus salivarius* у пациентов, получавших ИКС, составила  $2.5 \pm 0.8$  CFU/мл (log10), что значительно ниже аналогичного показателя у контрольной

Таблица 2.

Сравнительная характеристика микробного состава слизистой оболочки полости рта

Вид микроорганизмов	Основная группа (CFU/мл, log10)	Контрольная группа (CFU/мл, log10)	P-значение
<i>Streptococcus salivarius</i>	2.5 ± 0.8	4.1 ± 0.7	<0.001
<i>Lactobacillus spp.</i>	2.3 ± 0.5	3.9 ± 0.6	<0.001
<i>Candida albicans</i>	3.8 ± 0.7	1.5 ± 0.4	<0.001
<i>Staphylococcus aureus</i>	3.2 ± 0.6	1.7 ± 0.5	<0.001

ной группы ( $4.1 \pm 0.7$  CFU/мл, log10). Снижение численности *Lactobacillus spp.* также подтверждает ухудшение колонизационной резистентности, что может являться предпосылкой для роста условно-патогенных и патогенных микроорганизмов. В то же время численность *Candida albicans* в основной группе составила  $3.8 \pm 0.7$  CFU/мл (log10), что в два с лишним раза превышает аналогичный показатель в контрольной группе ( $1.5 \pm 0.4$  CFU/мл, log10). Подобная тенденция наблюдалась и для *Staphylococcus aureus*, концентрация которого в основной группе достигала  $3.2 \pm 0.6$  CFU/мл (log10) против  $1.7 \pm 0.5$  CFU/мл (log10) в контрольной группе. Эти показатели указывают на активное заселение слизистой оболочки патогенными микроорганизмами на фоне снижения нормальной микрофлоры.

Гистологическое исследование тканей слизистой оболочки полости рта выявило значительные изменения в структуре эпителия у пациентов, получавших терапию ИКС (табл. 3). Анализ показал уменьшение толщины эпителиального слоя, что сопровождалось выраженным воспалением в подлежащих тканях. Также были обнаружены признаки дегенеративных изменений, включая разрывы базального слоя и нарушение клеточной структуры. Эти изменения отчетливо отличались от показателей контрольной группы, где подобные патологии практически не наблюдались. Толщина эпителия у пациентов основной группы была значительно меньше, чем у пациентов контрольной группы, что отражает снижение барьерных свойств слизистой оболочки. Интенсивность воспалительной инфильтрации была оценена как умеренно выраженная у основной группы, в отличие от минимальной в контрольной. Дегенеративные изменения эпителия, включая нарушение морфологии клеток и появление участков некроза, наблюдались только у основной группы.

Средняя толщина эпителия у пациентов основной группы составила  $120 \pm 15$  мкм, что почти в два раза ниже, чем у пациентов контрольной группы ( $220 \pm 20$  мкм). Такое утончение эпителиального слоя отражает значительные структурные изменения, которые могут

Таблица 3.

Параметры гистологического анализа эпителия слизистой оболочки полости рта

Параметры гистологического анализа	Основная группа (n=80)	Контрольная группа (n=40)	P-значение
Толщина эпителия (мкм)	120 ± 15	220 ± 20	<0.001
Интенсивность воспалительной инфильтрации (балл)	2.8 ± 0.5	0.9 ± 0.3	<0.001
Выраженность дегенеративных изменений (балл)	3.1 ± 0.4	1.0 ± 0.2	<0.001

быть связаны с нарушением регенераторных процессов. Это подтверждается высокой интенсивностью воспалительной инфильтрации у основной группы (2.8±0.5 балла), что в три раза превышает аналогичный показатель у контрольной группы (0.9±0.3 балла). Кроме того, выраженность дегенеративных изменений у пациентов основной группы оценивалась в среднем на уровне 3.1±0.4 балла, тогда как в контрольной группе этот показатель составил 1.0±0.2 балла. Детальный анализ срезов показал, что у пациентов основной группы эпителий демонстрировал утрату нормальной структуры: клетки базального слоя теряли свою полярность, наблюдались межклеточные разрывы и уменьшение числа митозов. Подлежащие ткани были инфильтрированы лимфоцитами, макрофагами и нейтрофилами, что свидетельствует о хроническом воспалении. В отличие от основной группы, у контрольной группы тканевые срезы эпителия сохраняли нормальную морфологию, воспалительные инфильтраты были минимальны или отсутствовали, а дегенеративные изменения не регистрировались.

Результаты биохимического анализа слюны продемонстрировали существенные различия в функциональных характеристиках ротовой жидкости между основной и контрольной группами (табл. 4). У пациентов основной группы, получавших терапию ИКС, зафиксировано значительное снижение уровня секреторного иммуноглобулина А (sIgA), активности лизоцима и концентрации лактоферрина, что отражает угнетение механизмов локальной защиты. Эти показатели значительно отличались от данных контрольной группы, в которой отмечались более высокие значения, соответствующие нормальным физиологическим параметрам. Помимо этого, у основной группы наблюдались изменения кислотно-щелочного равновесия слюны, выражающиеся в снижении уровня pH и буферной емкости.

Уровень sIgA у пациентов основной группы был значительно ниже (0.75±0.1 мг/мл) по сравнению с контрольной группой (1.20±0.2 мг/мл). Это снижение указывает на уменьшение эффективности локального

Таблица 4.

Биохимические показатели слюны

Биохимический показатель	Основная группа (n=80)	Контрольная группа (n=40)	P-значение
Секреторный IgA (мг/мл)	0.75 ± 0.1	1.20 ± 0.2	<0.001
Активность лизоцима (мкг/мл)	5.3 ± 0.5	8.2 ± 0.6	<0.001
Лактоферрин (мкг/мл)	1.8 ± 0.2	3.5 ± 0.3	<0.001
Уровень pH слюны	6.2 ± 0.2	6.9 ± 0.2	<0.001
Буферная емкость слюны (ммоль/л)	4.0 ± 0.3	5.8 ± 0.4	<0.001

гуморального иммунитета, что может способствовать снижению резистентности слизистой оболочки к инфекциям. Активность лизоцима, основного антибактериального фермента слюны, также была значительно ниже в основной группе (5.3±0.5 мкг/мл) по сравнению с контрольной (8.2 ± 0.6 мкг/мл), что свидетельствует о нарушении барьерных функций. Содержание лактоферрина, который играет ключевую роль в связывании ионов железа и подавлении роста патогенной микрофлоры, также было снижено у основной группы (1.8±0.2 мкг/мл) по сравнению с контрольной (3.5 ± 0.3 мкг/мл). Эти изменения могут объяснять повышенную склонность к развитию инфекционных процессов на фоне нарушенного микробиологического равновесия. Помимо изменений в защитных белках, у пациентов основной группы наблюдалось снижение уровня pH слюны (6.2±0.2 против 6.9±0.2 в контрольной группе), что указывает на повышение кислотности ротовой жидкости. Буферная емкость слюны у основной группы также была значительно ниже (4.0±0.3 ммоль/л), что свидетельствует о снижении способности слюны нейтрализовать кислоты и поддерживать физиологический уровень pH.

Результаты анализа субъективных жалоб выявили выраженные различия между основной и контрольной группами (табл. 5). В основной группе значительно чаще регистрировались жалобы на ощущение сухости, жжения и болезненности в полости рта. Эти симптомы проявлялись с большей частотой и интенсивностью, отражая значительное влияние терапевтического вмешательства на качество жизни пациентов.

Частота жалоб на сухость в основной группе была выше, чем на другие симптомы, что свидетельствует о наибольшем влиянии данного проявления на состояние слизистой оболочки. Жалобы на жжение и болезненность также были характерны для основной группы, с явными отличиями в сравнении с контрольной.

Таблица 5.

Частота субъективных жалоб

Жалобы пациентов	Основная группа (n=80), %	Контрольная группа (n=40), %	P-значение
Сухость	72 %	18 %	<0.001
Жжение	58 %	10 %	<0.001
Болезненность	46 %	5 %	<0.001

Статистический анализ подтвердил значимые различия между основной и контрольной группами по всем исследуемым параметрам. Корреляционный анализ показал сильную связь между длительностью применения ИКС и степенью изменений слизистой оболочки (коэффициент корреляции  $r = 0.78$ ,  $p < 0.001$ ).

### Обсуждение

Результаты исследования показали значительное влияние ингаляционных кортикостероидов на состояние слизистой оболочки полости рта у пациентов с активным туберкулезом. Выявленные клинические, микробиологические, гистологические и биохимические изменения подтверждают, что длительная терапия ИКС ассоциируется с нарушением барьерной функции слизистой оболочки, локального иммунитета и микробного равновесия. Полученные данные согласуются с ранее описанными побочными эффектами ИКС, такими как развитие кандидоза и атрофических изменений эпителия, однако они впервые рассматриваются в контексте

пациентов с активным туберкулезом. Гистологические изменения, включая утончение эпителиального слоя и воспалительную инфильтрацию, могут объяснять частые жалобы пациентов на сухость и жжение. Снижение уровня *sIgA*, лизоцима и лактоферрина подтверждает угнетение локальных защитных механизмов. Наличие значимого дисбиоза у основной группы подчеркивает необходимость регулярного микробиологического мониторинга и коррекции микрофлоры в процессе терапии.

Ограничением исследования является относительно небольшой объем биопсийного материала, что может ограничивать интерпретацию некоторых гистологических данных. Также не учитывалось влияние других факторов, таких как питание и прием сопутствующих медикаментов, которые могли бы оказывать дополнительное воздействие. Будущие исследования должны включать долгосрочное наблюдение за пациентами для оценки восстановления слизистой оболочки после завершения терапии.

### Выводы

Применение ингаляционных кортикостероидов у пациентов с активным туберкулезом вызывает выраженные изменения слизистой оболочки полости рта, включая структурные, микробиологические и биохимические нарушения, а также повышенную частоту субъективных жалоб. Эти изменения требуют разработки мер профилактики и коррекции для снижения побочных эффектов терапии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Романовских А.Г., Белоцерковская Ю.Г., Смирнов И.П. Ингаляционные глюкокортикостероиды в лечении хронической обструктивной болезни лёгких // Клиническая медицина. 2018. Т. 96, № 3. С. 257–261.
2. Reddel H.K., Bateman E.D., Becker A., et al. A summary of the new GINA strategy: a roadmap to asthma control // European Respiratory Journal. 2015. Vol. 46, № 3. P. 622–639.
3. Schutz C., Davis A.G., Sossen B., et al. Corticosteroids as an adjunct to tuberculosis therapy // Expert Review of Respiratory Medicine. 2018. Vol. 12, № 10. P. 881–891.
4. Baldomero A.K., Siddiqui M., Lo C.Y., et al. The relationship between oral health and COPD exacerbations // International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. 2019. Vol. 14. P. 881–892.
5. van Boven J.F., de Jong-van den Berg L.T., Vegter S. Inhaled corticosteroids and the occurrence of oral candidiasis: a prescription sequence symmetry analysis // Drug Safety. 2013. Vol. 36, № 4. P. 231–236.
6. Sharma S.K., Mohan A. Tuberculosis: From an incurable scourge to a curable disease — journey over a millennium // Indian Journal of Medical Research. 2013. Vol. 137, № 3. P. 455–493.
7. Kim M.H., Rhee C.K., Shim J.S., et al. Inhaled Corticosteroids in Asthma and the Risk of Pneumonia // Allergy, Asthma & Immunology Research. 2019. Vol. 11, № 6. P. 795–805.

© Ханалиев Висампаша Юсупович; Гусейнова Сабина Тагировна (vagabova80@mail.ru);  
 Абакаров Тагир Абакарович (tagir.abakarovich@mail.ru); Будайчиев Гасан Магомед-Алиевич (gasan.budaychiev005@mail.ru)  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КОМПЛЕКСНОЕ ГЕНОМНОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-НАПРАВЛЕННАЯ ТЕРАПИЯ У ПАЦИЕНТОВ С РАСПРОСТРАНЕННЫМИ ФОРМАМИ СОЛИДНЫХ ОПУХОЛЕЙ: ДАННЫЕ РЕАЛЬНОЙ КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ

## COMPREHENSIVE GENOMIC PROFILING AND MOLECULARLY TARGETED THERAPY IN PATIENTS WITH ADVANCED SOLID TUMORS: EVIDENCE FROM REAL CLINICAL PRACTICE

**P. Shilo  
M. Makarkina  
A. Zakharenko**

*Summary.* In recent decades, the approach to the choice of therapy for cancer patients has changed from empirical to individualized, based on the molecular profile of the tumor. This study aims to analyze the efficacy of molecularly targeted therapy in patients with advanced solid tumors in real clinical practice. The retrospective single-center study analyzed data from 104 patients who underwent comprehensive genomic profiling at Lakhta Clinic from 2019 to 2023. Successful testing was performed in 87 patients (83.7 %), among which breast cancer, colorectal cancer and pancreatic cancer were predominant. Mutation load was determined in 57 patients, with a median of 4 mutations per megabase. High mutational load ( $\geq 10$  mutations/megabase) was identified in 6 patients. The results of this study indicate the importance of using targeted sequencing panels to optimize cancer treatment.

*Keywords:* molecularly targeted therapy, solid tumors, genomic profiling, mutational load, targeted sequencing, oncology, individualized approach, clinical practice.

**Шило Полина Сергеевна**

Врач-онколог, Первый Санкт-Петербургский  
государственный медицинский университет  
имени академика И.П. Павлова;  
ООО клиника «Лакхта», Санкт-Петербург, Россия  
polinashilo0@gmail.com

**Макаркина Мария Леонидовна**

Врач-онколог, к.м.н., Санкт-Петербургский клинический  
научно-практический центр  
специализированных видов медицинской помощи,  
онкологический имени Н.П. Напалкова  
stepanova100992@mail.ru

**Захаренко Александр Анатольевич**

Врач-онколог, д.м.н., проф., Первый  
Санкт-Петербургский государственный медицинский  
университет имени академика И.П. Павлова  
9516183@mail.ru

*Аннотация.* В последние десятилетия подход к выбору терапии для онкологических пациентов изменился от эмпирического к индивидуализированному, основанному на молекулярном профиле опухоли. Данное исследование направлено на анализ эффективности молекулярно-направленной терапии у пациентов с распространёнными солидными опухолями в реальной клинической практике. В ретроспективном одноцентровом исследовании были проанализированы данные 104 пациентов, прошедших комплексное геномное профилирование в клинике Лакхта с 2019 по 2023 год. Успешное тестирование было проведено у 87 пациентов (83,7 %), среди которых преобладали рак молочной железы, колоректальный рак и рак поджелудочной железы. Мутационная нагрузка была определена у 57 пациентов, с медианой 4 мутации на мегабазу. Высокая мутационная нагрузка ( $\geq 10$  мутаций/мегабаза) была выявлена у 6 пациентов. Результаты исследования указывают на важность применения панелей таргетного секвенирования для оптимизации лечения онкологических заболеваний.

*Ключевые слова:* молекулярно-направленная терапия, солидные опухоли, геномное профилирование, мутационная нагрузка, таргетное секвенирование, онкология, индивидуализированный подход, клиническая практика.

### Введение

За последние десятилетия для многих опухолей определение 1-й и последующей линий терапии сместилось от эмпирического выбора в сторону индивидуального подхода на основании молекулярного профиля опухоли [1, 3]. Спектр молекулярных мишеней, определение которых необходимо для выбора

оптимального по эффективности и токсичности варианта терапии, требует выполнения исследования целого ряда нарушений, многие из которых являются панопухолевыми, т.е. встречаются с крайне невысокой частотой при большом числе нозологических форм. Применение панелей таргетного секвенирования дает возможность оптимизировать и персонализировать стратегию лечения онкологических пациентов с различной клиниче-

ской картиной [2, 4, 5]. При этом общая результативность стратегии может в значительной степени варьировать в зависимости от диагностического теста, особенностей здравоохранения в конкретной стране, наличия или отсутствия доступа к клиническим исследованиям и многих других факторов.

Целью данного исследования является анализ эффективности молекулярно-направленной терапии у пациентов с распространёнными формами солидных опухолей в условиях реальной клинической практики.

### Материалы и методы

В ретроспективное одноцентровое исследование были включены данные 104 пациентов, которым было выполнено комплексное геномное профилирование с применением методик секвенирования опухолевого генома и которые наблюдались и проходили противоопухолевую терапию в условиях онкологического подразделения клиники Лахта (ранее — «Луч») с 2019 по 2023 гг. Решение о проведении таргетного секвенирования следующего поколения принималось в рамках консилиума с участием профильных специалистов. Уровень доказательности обнаруженных альтераций был классифицирован по шкале ESCAT. Был проанализирован спектр выявленных мутаций, назначение молекулярно-направленной терапии, клинический ответ опухоли и показатели выживаемости на лечение. Статистический анализ проводился в пакете SPSS ver22.0 с применением методов дескриптивной и аналитической статистики.

### Результаты и обсуждение

Комплексное геномное профилирование было выполнено 104 пациентам, из них успешным тестирование оказалось у 87 пациентов (83.7 %).

В итоговый анализ были включены данные 87 пациентов с распространёнными солидными опухолями различных локализаций. Далее базовые характеристики ирезультатыописаныдлякогортыпациентовс успешным выполнением комплексным геномным профилированием.

Преобладающими нозологиями был рак молочной железы (n=20, 23 %), колоректальный рак (n=19, 21.8 %) и рак поджелудочной железы (n=7, 8 %). Менее частыми оказались следующие нозологии: рак желудка (n=6, 6.9 %), мягкотканые саркомы (n=5, 5.7 %), рак яичников (n=4, 4.6 %). В отдельную подкатегорию выделены пациенты с редкими подтипами опухолей (n=8, 9.2 %).

Медиана возраста пациентов на момент выполнения тестирования составила 57 лет. Все пациенты, включенные в исследование, имели либо первично-метастатическую стадию заболевания, либо прогрессирующее изначально локализованного опухолевого процесса.

Информация о количестве линий предшествующей терапии была доступна по 79 пациентам. 46 пациентов (58.2 %) до выполнения комплексного геномного профилирования получили 0–2 линии терапии и 33 пациента (41.8 %) получили 3 и более линии терапии.

ECOG статус на момент выполнения диагностического теста был известен у 65 пациентов. Среди них ECOG статус соответствовал 0-1 у 29 пациентов (44.6 %) и 2–3 у 36 пациентов (55.4 %).

Наиболее часто используемыми панелями оказались Atlas Solo (n=43, 49.4 %) и FoundationOne (n=39, 44.8 %), однако в небольшом проценте случаев использовались и другие диагностические панели — Guardant (n=2, 2.3 %), OncoBox (n=2, 2.3 %) и Parseq (n=1, 1.1 %).

Более подробно базовые характеристики популяции описаны в Таблице 1.

*Мутационный профиль смешанной когорты пациентов*

При объединённом анализе всех диагностических панелей и всех нозологий медиана количества обнаруженных мутаций составила 4 (размах 0–24), медиана мутационной нагрузки также оказалась равна 4 (размах 0–56).

Среди 87 пациентов мутационная нагрузка была успешно определена у 57 пациентов, медиана мутационной нагрузки в выборке оказалась равна 4 мутации на мегабазу. Опухолевая мутационная нагрузка определялась как «высокая» при количестве  $\geq 10$  мутаций на мегабазу. Мутационная нагрузка  $\geq 10$  была обнаружена у 6 пациентов (10.5 %): у двух пациентов с колоректальным раком (TMB = 56 и 44 мутация/мегабаза), одного пациента с аденокарциномой лёгкого (TMB = 17 мутаций/мегабаза), одного пациента с глиобластомой (TMB = 12 мутаций/мегабазу), одного пациента с раком желудка (TMB = 35 мутаций/мегабазу) и пациентки с раком молочной железы (TMB = 12 мутаций/мегабазу).

У одного пациента была обнаружена микросателлитная нестабильность (MSI-H), однако, данная находка была выявлена и ранее методом ИГХ.

В смешанной нозологической когорте генами с наибольшей частотой альтераций оказались гены TP53 (n=34, 39.0 %), KRAS (n=23, 26.4 %), PIK3CA (n=14, 16.1 %) и APC (n=11, 14.9 %). Полный перечень обнаруженных альтераций приведён в приложении к статье.

*Частота выявления таргетируемых альтераций в смешанной когорте пациентов*

Методом комплексного геномного профилирования альтерации были обнаружены у 74/87 пациентов

Таблица 1.  
Базовые характеристики пациентов,  
включённых в исследование

	Количество	%	
Диагноз	Аденокарцинома лёгкого	5	5,7 %
	Колоректальный рак	19	21,8 %
	Меланома	3	3,4 %
	Метастаз опухоли из первичного невыявленного очага	1	1,1 %
	Опухоль желчевыводящей системы	3	3,4 %
	Опухоль ЦНС	2	2,3 %
	Рак головы и шеи	1	1,1 %
	Рак желудка	6	6,9 %
	Рак молочной железы	20	23,0 %
	Рак поджелудочной железы	7	8,0 %
	Рак слюнной железы	1	1,1 %
	Рак шейки матки	1	1,1 %
	Рак яичников	4	4,6 %
	Редкие подтипы опухолей	8	9,2 %
	Саркома мягких тканей	5	5,7 %
Плоскоклеточный рак лёгкого	1	1,1 %	
Количество линий терапии до назначения комплексного геномного профилирования	0	8	10,1 %
	1	17	21,5 %
	2	21	26,6 %
	3	15	19,0 %
	4	7	8,9 %
	5	3	3,8 %
	7	6	7,6 %
	8	2	2,5 %
Количество линий терапии до выполнения комплексного геномного профилирования	0–2 линии терапии	46	58,2 %
	3 и более линии терапии	33	41,8 %
ECOG статус	0–1	29	44,6 %
	2–3	36	55,4 %

	Количество	%	
Название диагностического теста	Atlas Solo	43	49,4 %
	FoundationOne	39	44,8 %
	Guardant	2	2,3 %
	OncoBox	2	2,3 %
Год выполнения диагностического теста	Parseq	1	1,1 %
	2020	26	29,9 %
	2021	20	23,0 %
	2022	19	21,8 %
2023	22	25,3 %	

Таблица 2.

	Медиана	Минимум	Максимум	25 % квартиль	75 % квартиль
Количество обнаруженных альтераций	4	0	24	2	7
Опухолевая мутационная нагрузка (Tumor mutational burden, TMB)	4	0	56	3	7

(85.1 %). Потенциально таргетируемыми эти альтерации оказались у 39 пациентов (44.8 %). У 25 (29.1 %) пациентов была обнаружена одна таргетируемая альтерация, у 9 (10.5 %) пациентов — две, и у 4 (4.7 %) пациентов — 3 таргетируемые альтерации. В 39/87 (46/4 %) случаев таргетируемые альтерации, детектируемые методом комплексного геномного профилирования, не могли быть обнаружены стандартными диагностическими способами.

Суммарно в исследуемой выборке было выявлено 64 потенциально таргетируемых альтерации, для которых было рекомендовано 170 молекулярно-направленных препаратов. Все биомаркеры и рекомендуемые препараты были классифицированы с помощью шкалы ESCAT (European Society Medical Oncology Scale for Clinical Actionability of Molecular Targets).

Наибольшая часть рекомендаций относилась к уровню доказательности IV (n=67, 39.4%) и уровню III (n=58, 34.1%), то есть, к достаточно низкому (рис. 1).

Таблица 3.

Клиническая характеристика обнаруженных альтераций в смешанной когорте пациентов

		Количество	% по подтаблице
Обнаружение альтераций	Нет	13	14,9 %
	Да	74	85,1 %
Обнаружение таргетируемых альтераций	Нет	48	55,2 %
	Да	39	44,8 %
Количество потенциально таргетируемых альтераций	0	48	55,8 %
	1	25	29,1 %
	2	9	10,5 %
	3	4	4,7 %
Обнаружение дополнительных альтераций с помощью комплексного геномного профилирования	Нет	45	53,6 %
	Да	39	46,4 %

*Анализ выживаемости в смешанной когорте пациентов*

Медиана общей выживаемости с момента выполнения комплексного геномного профилирования в смешанной когорте пациентов оказалась равна 42 неделям (95% ДИ [28.6-55.4]) (рис. 2).

Общая выживаемость пациентов, получивших молекулярно-направленную терапию, нумерически превосходит таковую у пациентов, которые не получили дан-

ную терапию; медианы общей выживаемости в группах составили 58 недель и 35 недели, соответственно. Однако статистически значимых различий не обнаружено, вероятно, в силу малой численности групп,  $p = 0.097$ .

Следует также отметить, что подобная нумерическая разница между группами, вероятно, обусловлена единичными случаями экстраординарного ответа в группе пациентов, получивших молекулярно-направленную терапию. Подробнее клинические характеристики данной когорты пациентов будут обсуждены далее.

*Анализ когорты пациентов, получивших молекулярно-направленную терапию*

Из 87 пациентов с успешно выполненным комплексным геномным профилированием, молекулярно-направленная терапия была назначена в 11 случаях.

Клинические характеристики пациентов и результаты молекулярно-направленной терапии описаны в таблице.

Наиболее частыми молекулярно-направленными препаратами были алпелисиб (n=3), пембролизумаб (n=3), олапариб (n=3), также в одном случае был назначен эрлотиниб (n=1) и сунитиниб (n=1).

В двух случаях: у пациента с аденокарциномой лёгкого и высокой мутационной нагрузкой на фоне пембролизумаба и у предлеченного пациента с высокой мутационной нагрузкой и мутацией POLE удалось достичь полного клинического ответа; в одном случае — у пациента с колоректальным раком — ремиссия оказалась длительной — более 2 лет без признаков прогресси-

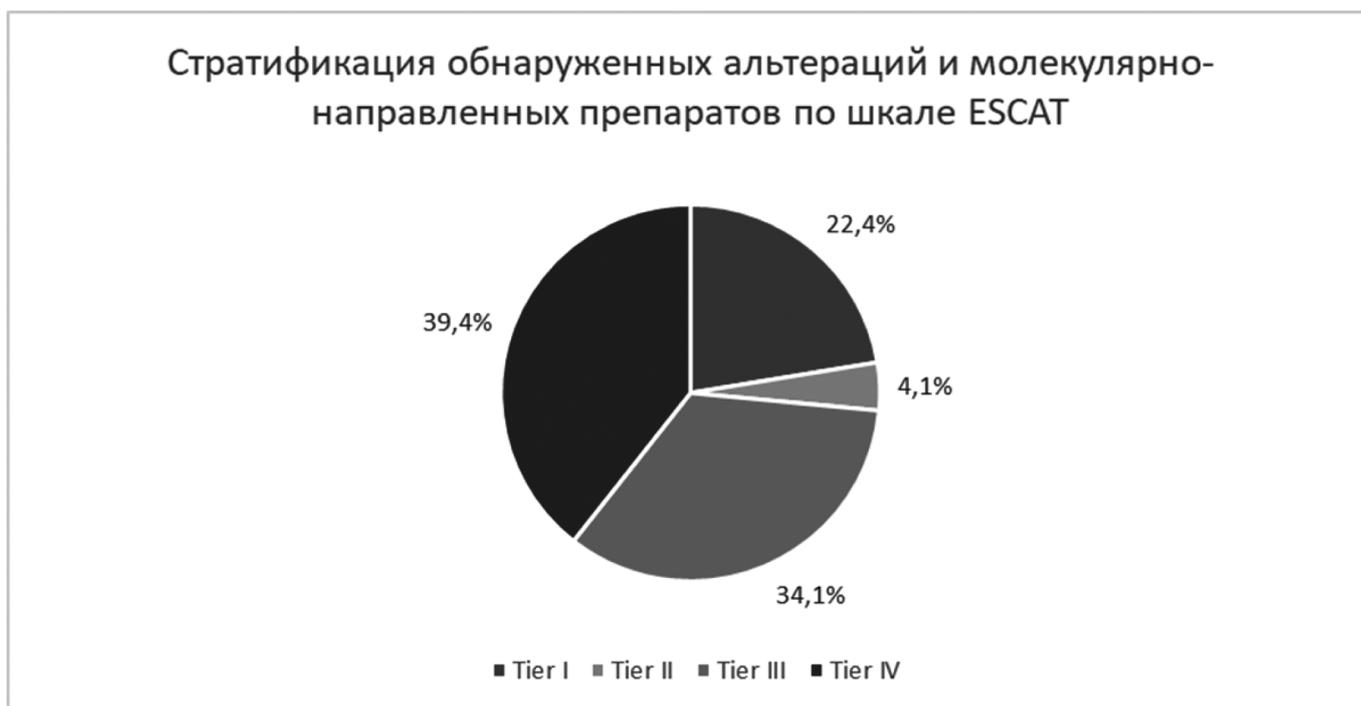


Рис. 1. Стратификация обнаруженных альтераций и молекулярно-направленной терапии по шкале ESCAT

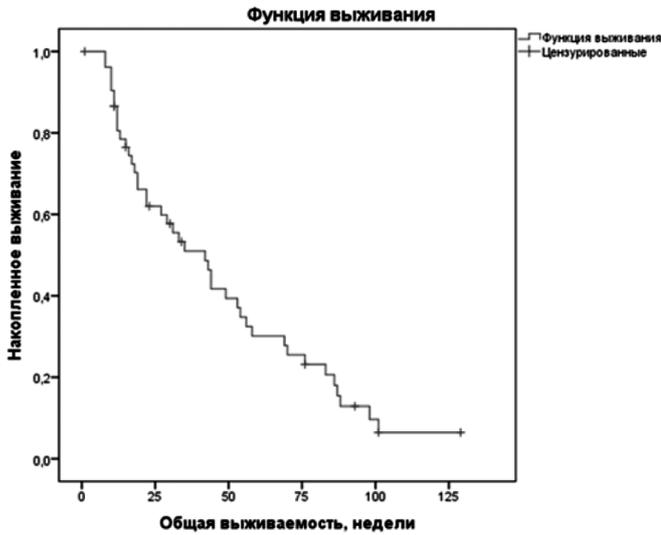


Рис. 2. Общая выживаемость в смешанной когорте пациентов

вания опухолевого процесса. Данный случай классифицирован как экстраординарный ответ на молекулярно-направленную терапию.

**Заключение**

Молекулярно-направленная терапия, назначенная на основании данных геномного профилирования, мо-

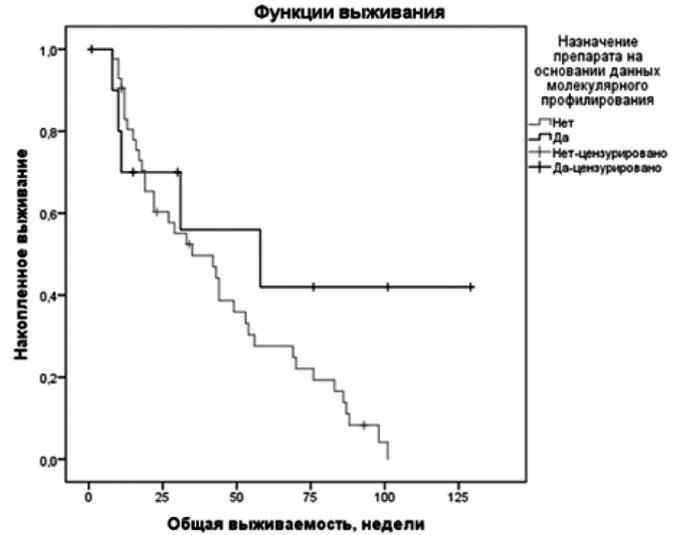


Рис. 3. Общая выживаемость в зависимости от факта назначения молекулярно-направленной терапии

жет быть перспективным методом лечения пациентов с распространёнными солидными опухолями. Необходимы крупные проспективные исследования в различных странах для анализа целесообразности данного подхода в условиях реальной клинической практики.

**Длительность ответа на молекулярно направленную терапию**

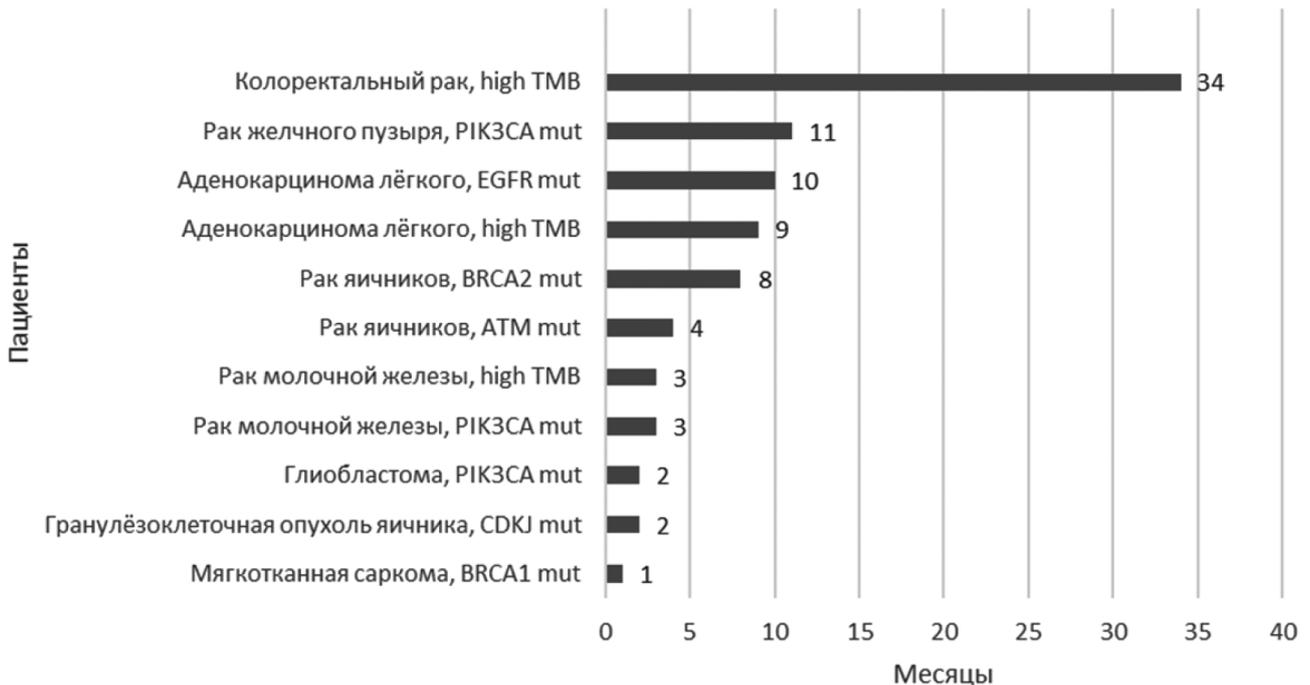


Рис. 4. Длительность ответа на молекулярно-направленную терапию

Таблица 4.

Базовые характеристики пациентов, получивших молекулярно-направленную терапию и результаты лечения

№	Диагноз, группа	Краткая клиническая характеристика	Обнаруженная альтерация	Назначенный препарат	Максимальный эффект терапии
1	Рак молочной железы	Женщина, 39 лет Трижды негативный рак молочной железы (метапластическая карцинома), состояние после 8 линий лекарственной терапии	PIK3CA	Алпелисиб	Стабилизация
2	Рак молочной железы	Женщина, 27 лет Трижды негативный рак молочной железы, состояние после 4 линий лекарственной терапии	Высокая мутационная нагрузка (12 мут/мб)	Пембролизумаб	Прогрессирование
3	Рак яичников	Женщина, 42 года Серозная high-grade карцинома яичников,	ATM	Олапариб	Стабилизация
4	Рак яичников	Женщина, 38 лет Серозная high-grade	BRCA2	Олапариб	Частичный регресс
5	Аденокарцинома лёгкого	Женщина, 82 года Аденокарцинома верхней доли правого легкого	EGFR	Эрлотиниб	Частичный регресс
6	Аденокарцинома лёгкого	Мужчина, 56 лет Аденокарцинома верхней доли левого легкого	Высокая мутационная нагрузка (12 мут/мб)	Пембролизумаб	Полный клинический ответ
7	Колоректальный рак	Мужчина, 34 года Аденокарцинома	POLE, TMB	Пембролизумаб	Полный клинический ответ
8	Гранулёзноклеточная опухоль яичника	Женщина, 29 лет Гранулёзноклеточная опухоль яичника, прогрессирование на фоне 3 линий лекарственной терапии	CGHCH	Сунитиниб	Прогрессирование
9	Опухоль ЦНС	Женщина, 55 лет Глиобластома левой теменной доли, Grade IV, прогрессирование на фоне 3 линий лекарственной терапии	PIK3CA	Алпелисиб	Прогрессирование
10	Мякотканная саркома	Женщина, 28 лет Лейомиосаркома мягких тканей лица, состояние после 4 линий лекарственной терапии	BRCA1	Олапариб	Прогрессирование
11	Рак желчного пузыря	Женщина, 59 лет Рак желчного пузыря, состояние после 3 линий лекарственной терапии	PIK3CA	Алпелисиб	Стабилизация

ЛИТЕРАТУРА

- Berger M.F., Mardis E.R. The emerging clinical relevance of genomics in cancer medicine //Nature reviews Clinical oncology. — 2018. — Т. 15. — №. 6. — С. 353–365.
- Drilon A. et al. Broad, hybrid capture-based next-generation sequencing identifies actionable genomic alterations in lung adenocarcinomas otherwise negative for such alterations by other genomic testing approaches //Clinical cancer research. — 2015. — Т. 21. — №. 16. — С. 3631–3639.
- Hyman D.M., Taylor B.S., Baselga J. Implementing genome-driven oncology //Cell. — 2017. — Т. 168. — №. 4. — С. 584–599.
- Rankin A. et al. Broad detection of alterations predicted to confer lack of benefit from EGFR antibodies or sensitivity to targeted therapy in advanced colorectal cancer //The oncologist. — 2016. — Т. 21. — №. 11. — С. 1306–1314.
- Suh J.H. et al. Comprehensive genomic profiling facilitates implementation of the national comprehensive cancer network guidelines for lung cancer biomarker testing and identifies patients who may benefit from enrollment in mechanism-driven clinical trials //The Oncologist. — 2016. — Т. 21. — №. 6. — С. 684–691.

© Шило Полина Сергеевна (polinashilo0@gmail.com); Макаркина Мария Леонидовна (stepanova100992@mail.ru);

Захаренко Александр Анатольевич (9516183@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## Наши авторы

**Abakarov T.** — Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala

**Abramova N.** — RTU MIREA, Moscow

**Akimov D.** — MIREA – Russian University of Technology

**Aksenov S.** — Doctor of Economics, Professor, Ufa State University of Science and Technology

**Amarantov D.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner» of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Anishchenko L.** — Doctor of Agricultural Sciences, professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky»

**Avramenko M.** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, «Bryansk State University named after Academician I. G. Petrovsky»

**Badakhov A.** — Postgraduate student of the Department of Hospital Surgery with a course in Anesthesiology and Intensive Care Medicine, North Caucasus State Academy, Cherkessk, Karachay-Cherkess Republic, Russian Federation

**Barinova A.** — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner» of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Bektimirov A.** — Post-graduate student, Moscow City University (MCU)

**Berger E.** — Ph.D., RTU MIREA, Moscow

**Budaichiev G.** — Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala

**Bulgarov R.** — Head of the Department of X-ray Surgical Methods of Diagnosis and Treatment, Russian State Medical Institution «Karachay-Cherkess Republican Clinical Hospital», Cherkessk, Karachay-Cherkess Republic, Russian Federation

**Chaika M.** — postgraduate student, Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov

**Chelebov E.** — Postgraduate student, FSBEI HE Tver State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tver

## Our authors

**Cheremisin A.** — cand. geogr. sciences, associate professor, Polar State University N.M. Fedorovsky, Norilsk

**Chigray O.** — Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, «Bryansk State University named after Academician I. G. Petrovsky»

**Chiskidov S.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia, Khimki (Moscow Oblast), Russia

**Chudinov A.** — Head of the Endoscopy Department of the State Budgetary Institution of Healthcare of the State Clinical Hospital named after. M.A. Tver» State budgetary healthcare institution of the Perm Territory «City Clinical Hospital named after M.A. Tver»

**Denisova P.** — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner» of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Dinaev R.** — X-ray surgeon of the Department of X-ray Surgical Methods of Diagnosis and Treatment, assistant of the Department of Hospital Surgery with a course in Anesthesiology and Intensive Care, Russian State Medical Institution «Karachay-Cherkess Republican Clinical Hospital», Cherkessk, Karachay-Cherkess Republic, Russian Federation «North Caucasus State Academy», Cherkessk, Karachay-Cherkess Republic, Russian Federation

**Doroshin A.** — Candidate of Technical Sciences, Director of the ISEC CIS for RES, Associate Professor of the Department of RES, National Research University Moscow Power Engineering Institute

**Dranga D.** — National University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russia

**Fedachuk N.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Faculty Surgery №2, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner» of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Filimonova E.** — Kazan State Medical University

**Filipchenko E.** — PhD, Kuban State Medical University

**Gantts I.** — Ph.D., RTU MIREA, Moscow

**Gasanov G.** — Obstetrician-gynecologist of State budgetary healthcare institution of the Crimean Republic «Simferopol Central Regional Clinical Hospital», Simferopol

**Geger E.** — Dr of Biological Sciences, Professor, Bryansk State Technical University

**Goncharov A.** — Candidate of Technical Sciences, docent, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (the First Cossack University)

**Gorlova K.** — MIREA – Russian University of Technology

**Goryachkin B.** — candidate of technical Sciences, associate Professor; Bauman Moscow State Technical University

**Grishin P.** — MD, Cand. Sci. (Med.), Associate professor, Kazan State Medical University

**Guryanova E.** — MIREA – Russian University of Technology

**Guseynova S.** — Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala

**Gushchina D.** — Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Technological University» named after A.A. Leonov

**Isaev R.** — postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky»

**Ivanchenkova O.** — Bryansk state engineering-technological University, Bryansk

**Ivanov N.** — PhD Student, National Research University Moscow Power Engineering Institute

**Kabanov V.** — PhD Student, National Research University Moscow Power Engineering Institute

**Kabisova V.** — Postgraduate Student, S. M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg

**Kalashnik D.** — PhD, Kuban State Medical University

**Karelova O.** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor, Moscow State Linguistic University; Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Moscow)

**Kazakov A.** — MD, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Tver State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tver

**Kerimkhanov R.** — Postgraduate student, FSBEI HE Tver State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tver

**Keshchyan L.** — Candidate of Medical Sciences, Chief Physician, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow Region «Naro-Fominsk Perinatal Center», Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov» of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Khanaliev V.** — Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Makhachkala

**Kharchenko D.** — Altai State Pedagogical University, Barnaul

**Khomutinnikov M.** — postgraduate student, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration

**Kireev V.** — PhD, Assistant professor National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)

**Kostrova O.** — Institute of Information Sciences at Moscow State Linguistic University (Moscow)

**Kovrigina I.** — PhD, Kuban State Medical University

**Kurbanova K.** — Institute of Information Sciences at Moscow State Linguistic University (Moscow)

**Kuzmenko A.** — PhD Student, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)

**Lahtin A.** — K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (the First Cossack University)

**Lisovskaya S.** — Cand. Sci. (Biolog.), Associate Professor, Kazan Research Institute of Epidemiology and Microbiology; Kazan State Medical University

**Lukashov S.** — Bryansk State University named after acad. I.G. Petrovskogo, Bryansk

**Lyalichkina N.** — MD, Head of the Simulation and Training Center, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow region «Naro-Fominsk Perinatal Center»

**Makarkina M.** — Oncologist, PhD, Saint Petersburg Clinical Scientific and Practical Center for Specialized Types of Medical Care, Oncology named after N.P. Napalkov

**Makhauri A.** — Postgraduate student, FGBOU VO Tver State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tver

**Mayak A.** — MIREA – Russian University of Technology

**Mejidov S.** — Postgraduate student, FGBOU VO Tver State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tver

**Muginova E.** — Ufa State University of Science and Technology

**Namokonov E.** — MD, Professor, Chita State Medical Academy

**Nevolin F.** — Post-graduate student, Moscow City University (MCU)

**Novikova A.** — Graduate student, Pacific State University, Khabarovsk

**Nozdracheva Ye.** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, «Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky»

**Ogorodov D.** — Postgraduate Student, Kosygin Russian State University

**Orevkov E.** — Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner» of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Parkhomenko I.** — Graduate student, Pacific State University, Khabarovsk

**Pelikh D.** — Postgraduate student, assistant, Saint Petersburg State University of Telecommunications

**Pereverzev D.** — PhD Student, National Research University Moscow Power Engineering Institute

**Platonova P.** — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

**Pleskacheva O.** — Candidate of Pedagogical Sciences, associate professor, FGBOU VO «Bryansk State Technical University»

**Pokhvashev E.** — Assistant, Pacific State University, Khabarovsk

**Popova V.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, First Saint Petersburg State Medical University named after Academician I.P. Pavlov

**Pruss B.** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, FGBOU VO «Bryansk State Technological University of Engineering»

**Reshetnik G.** — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol,

**Romanov V.** — Candidate of Technical Sciences, associate professor FGBOU VO «Bryansk State Technological University of Engineering»

**Romashkova O.** — Doctor of Engineering, Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA), Moscow, Russia

**Sataieva T.** — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

**Semenov I.** — Moscow State Technical University names Bauman

**Serdyukov D.** — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, S. M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg

**Sheyko E.** — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

**Shilo P.** — Oncologist, First Saint Petersburg State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, LLC Clinic «Lakhta», Saint Petersburg, Russia

**Shurkalov P.** — Senior Researcher at the Department of RES, National Research University Moscow Power Engineering Institute

**Silenok A.** — Ph. D. (Ecology), Associate Professor, Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky

**Sokolova N.** — MD, Associate Professor, FSBEI HE Tver State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tver

**Soldatenkova M.** — medical psychologist, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow region «Naro-Fominsk Perinatal Center»

**Strinkevich A.** — Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner» of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Temerezov T.** — The doctor is a cardiovascular surgeon, an assistant at the Department of Hospital Surgery with a course in anesthesiology and intensive care, Russian State Medical Institution «Karachay-Cherkess Republican Clinical Hospital», Cherkessk, Karachay-Cherkess Republic, Russian Federation «North Caucasus State Academy», Cherkessk, Karachay-Cherkess Republic, Russian Federation

**Temrezov M.** — MD, Professor, Head of the Department of Cardiovascular Surgery, Head of the Department of Hospital Surgery with a course in Anesthesiology and Intensive Care, Russian State Medical Institution «Karachay-Cherkess Republican Clinical Hospital», Cherkessk, Karachay-Cherkess Republic, Russian Federation «North Caucasus State Academy», Cherkessk, Karachay-Cherkess Republic, Russian Federation

**Tereshenko A.** — Postgraduate, Northern (Arctic) Federal University, Russia, Arkhangelsk

**Titov D.** — Post-graduate student, Moscow City University (MCU)

**Vasiltsova N.** — Assistant, Chita State Medical Academy

**Vazhov S.** — cand. biol. sciences, associate professor, Altai State Pedagogical University, Barnaul

**Vazhov V.** — doctor of agricultural sciences, professor, Altai State Pedagogical University, Barnaul

**Vegera D.** — Senior Lecturer, Pacific State University, Khabarovsk

**Veremeychuk G.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, Khimki (Moscow Oblast), Russia

**Verkner A.** — MIREA – Russian University of Technology

**Yashnov A.** — MD, Associate Professor, Chita State Medical Academy

**Yaskov M.** — doctor of Agriculture sciences, professor, Gorno-Altai State University», Gorno-Altai

**Yaya Latifatou** — PhD student, Federal State Budgetary Educational Institution of the Peoples' Friendship University of Russia Patrice Lumumba (Moscow)

**Zabavin A.** — Lecturer, Pacific State University, Khabarovsk

**Zakharenko A.** — Oncologist, MD, Professor, Head of the Oncology Department of the Faculty of Postgraduate Studies, First Saint Petersburg State Medical University named after Academician I.P. Pavlov

**Zolotukhina D.** — Voronezh State University

## Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

**За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.**

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

### Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Литература составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- ◆ Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

### Правила написания математических формул.

- ◆ В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- ◆ Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- ◆ Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

### Правила оформления графики.

- ◆ Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- ◆ Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные — 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» ( e-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru) ).