

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 12 2024 (ДЕКАБРЬ)

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>

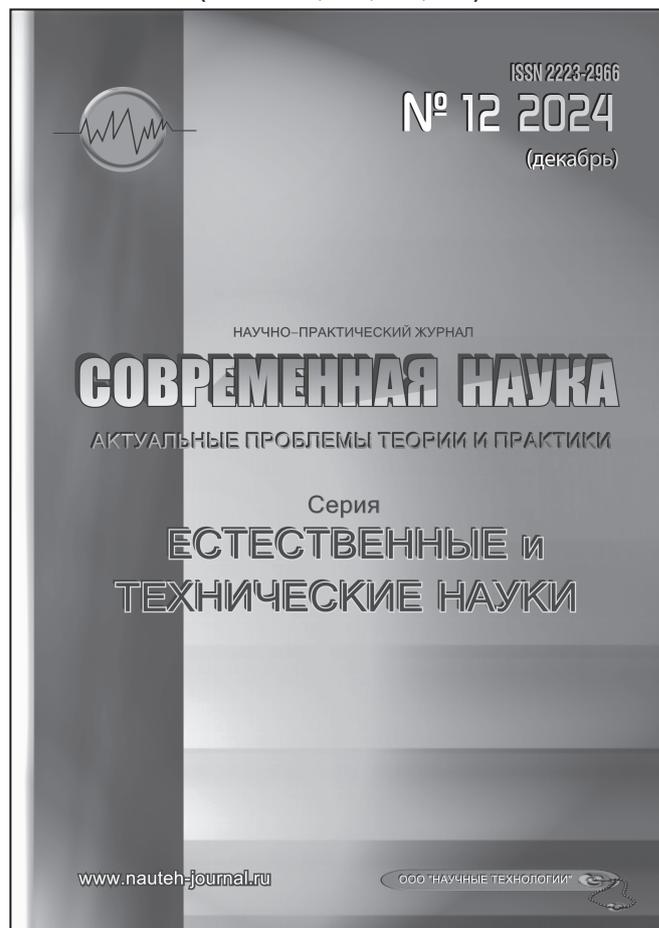
Журнал зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере массовых коммуникаций,  
связи и охраны культурного наследия.

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 10.12.2024 г. Формат 84x108 1/16  
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



# Редакционный совет

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## Общая биология

**Иофина И.В.** — Микофлора основных притоков Ладожского озера и реки Невы  
*Iofina I.* — Mycoflora of Ladoga tributaries and Neva river.....7

**Лагутина Н.В., Джанчаров Т.М., Евграфов А.В., Шаламов Д.И., Кутенкова М.В.** — Влияние агроклиматических условий на рост и урожайность озимой пшеницы в условиях Агроэкологического стационара  
*Lagutina N., Dzhancharov T., Yevgrafov A., Shalamov D., Kutenkova M.* — The influence of agroclimatic conditions on the growth and yield of winter wheat in the conditions of the Agroecological Station.....11

**Точилина А.Г., Белова И.В., Молодцова С.Б., Кротонов В.С., Соловьева И.В.** — Анализ генетических особенностей штаммов *S. aureus*, циркулирующих в многопрофильном стационаре  
*Tochilina A., Belova I., Molodtsova S., Kropotov V., Solovyova I.* — Analysis of the genetic characteristics of *S. aureus* strains circulating in a multidisciplinary hospital.....19

**Чибыев В.Ю., Новгородова Ж.Н.** — Полуводные грызуны Центрально-якутской низменности  
*Chibyiev V., Novgorodova Zh.* — Semi-aquatic rodents of the Central Yakut lowland.....24

**Шайдабекова М.З., Лобанова О.В., Косенкова О.В., Джамалова С.А.** — Роль антибиотиков в современной антибактериальной терапии  
*Shaidabekova M., Lobanova O., Kosenkova O., Dzhamalova S.* — The role of antibiotics in modern antibacterial therapy.....33

**Шаров Т.Н., Король Е.В., Будченко А.А.** — Масс-спектрометрический анализ белков различных штаммов патогенных бургхолдерий  
*Sharov T., Korol E., Budchenko A.* — Mass-spectrometric analysis of proteins of different strains of pathogenic burkholderia.....40

## Информатика, вычислительная техника и управление

**Аддас Сафух, Шварцбург Л.Э.** — Математическая модель эффективности циклонного сепаратора  
*Addas Safouh, Schwarzburg L.* — Mathematical model of cyclone separator efficiency.....45

**Аддас Сафух, Шварцбург Л.Э.** — Повышение эффективности очистки воздуха рабочей зоны посредством автоматического управления  
*Addas Safouh, Schwarzburg L.* — Improving the efficiency of air purification in the work area through automatic control.....49

**Аксенов С.Г., Гайфуллин И.Р.** — Управление в организационных системах: модернизация работы пожарной службы  
*Aksenov S., Gayfullin I.* — Management in organizational systems: modernization of the work of the fire service.....53

**Аксенов С.Г., Михайлова М.Ю.** — Обзор моделей для интеллектуальных методов поддержки принятия решений, основанных на онтологии организационного управления в программных проектах  
*Aksenov S., Mikhailova M.* — Review of models for intellectual decision support methods based on the ontology of organizational management in software projects.....59

**Воронин В.А., Ромашкова О.Н.** — Обеспечение надёжности и отказоустойчивости корпоративных цифровых коммуникаций  
*Voronin V., Romashkova O.* — Ensuring reliability and fault tolerance corporate digital communications.....65

**Захаров Я.В., Ромашкова О.Н.** — Анализ современных инструментов и платформ поддержки принятия управленческих решений в образовании  
*Zakharov Ya., Romashkova O.* — Analysis of modern tools and platforms for administrative decision-making in education.....71

- Илюшин А.О., Литвинская О.С.** — Исследование оптимальности работы системы учета жилищного фонда  
*Ilyushin A., Litvinskaya O.* — Investigation of the optimality of the housing stock accounting system .....76
- Качалин В.С., Калугин А.В.** — Анализ технологий применимых в системе принятия решений о проведении косметического ремонта здания  
*Kachalin V., Kalugin A.* — Analysis of technologies applicable in the decision-making system for carrying out cosmetic repairs of a building .....80
- Каширин М.А.** — Анализ vst real-time плагинов для гендерного морфинга голоса  
*Kashirin M.* — Analysis of vst real-time plugins for voice gender morphing.....86
- Малинин И.И., Пантюхин А.М., Гладун В.В., Молодяков С.А.** — Разработка сервиса для автоматизации процессов HR департамента предприятия  
*Malinin I., Pantykhin A., Gladun V., Molodyakov S.* — Development of a service for automation of processes of HR department of the business enterprise .....91
- Малинин И.И., Пантюхин А.М., Гладун В.В., Молодяков С.А.** — Разработка сервиса оценки качества городской среды  
*Malinin I., Pantykhin A., Gladun V., Molodyakov S.* — Development of a service for assessing the quality of the urban environment .....96
- Маркелова А.В., Ромашкова О.Н., Чискидов С.В.** — Системы мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса  
*Markelova A., Romashkova O., Chiskidov S.* — Monitoring systems for the quality of medical services in a megalopolis ..... 102
- Минков О.А.** — Универсальная модель данных на основе формата JSON  
*Minkov O.* — A universal data model based on the JSON format..... 107
- Русаков А.М., Болгар Е.П., Иванов Е.С.** — Анализ современного состояния исследований в области автоматизации мониторинга информационной безопасности сетей промышленного Интернета вещей с использованием технологий искусственного интеллекта  
*Rusakov A., Bolgar E., Ivanov E.* — Analysis of the current state of research in the field of automation of information security monitoring of industrial Internet of Things networks using artificial intelligence technologies ..... 114
- Рыбак В.А.** — Система анализа переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и водных объектах  
*Rybak V.* — System for analyzing the transfer of pollutants in the atmospheric air and water bodies ..... 119
- Сыроваткин Р.А.** — Модель алгоритма ограничивающего регулирования газотурбинного компрессора  
*Syrovatkin R.* — A model of the algorithm for limiting regulation of a gas turbine compressor..... 123
- Тырышкин С.Ю.** — Эмуляция квантовых вычислительных процессов для автоматизированных систем управления на классическом ПК  
*Tyryshkin S.* — Emulation of quantum computing processes for automated control systems on a classical PC..... 130
- Хрусталева И.Н.** — Модель оптимизации параметров межцеховых транспортных операций  
*Khrustaleva I.* — The optimization model of the inter-shop transport operations parameters ..... 135
- Чмелев А.А.** — Безопасность в эпоху цифровизации: современные подходы к защите пользовательских сессий  
*Chmelev A.* — Security in the digital age: modern approaches to user session protection ..... 143
- Клиническая медицина
- Базылев В.В., Шутов Д.Б., Медовщикова С.Е., Асташкин А.Ф., Карнахин В.А.** — Стратегия профилактики стернальных раневых инфекций при двустороннем шунтировании внутренних грудных артерий  
*Bazylev V., Shutov D., Medovshchikova S., Astashkin A., Karnakhin V.* — Strategy for the prevention of sternal wound infections after bilateral internal ..... 154
- Барова Н.К., Ескина Е.Н., Стрюковский А.Е., Григорова А.Н., Едиджи А.А.** — Хронические и длительно незаживающие раны у детей — актуальность проблемы и обзор методов лечения на современном этапе

- Barova N., Eskina E., Stryukovsky A., Grigorova A., Ediji A.* — Chronic and long-term non-healing wounds in children — the relevance of the problem and a review of treatment methods at the present stage. .... 160
- Бердыш Д.С., Ачех Т.В., Лих Д.П., Беслангурова З.А., Ильченко Г.В.** — Нефрогенная форма антифосфолипидного синдрома  
*Berdysh D., Aceh T., Likh D., Beslangurova Z., Ilchenko G.* — The nephrogenic form of antiphospholipid syndrome ..... 167
- Бочкарёв А.Б., Новиков М.С., Шевердин Н.Н., Торопов (Григорян) К.А., Курскова А.И.** — Миокардиальные мостики: от диагностики к хирургическому лечению  
*Bochkarev A., Novikov M., Sheverdin N., Toropov (Grigoryan) K., Kurskova A.* — Myocardial bridges: from diagnosis to treatment ..... 173
- Вашуркина И.М., Казанкина А.С., Казанкина Е.Н., Пузакова Д.В., Казанкина В.С.** — Клинический случай эмфизематозного остиомиелимита у ребенка  
*Vashurkina I., Kazankina A., Kazankina E., Puzakova D., Kazankina V.* — Clinical case of emphysematous osteomyelitis in a child ..... 179
- Гламаздин И.Г., Чжан Нань** — Исследования по применению ультразвуковой диагностики многокамерного эхинококка в печени в Китае  
*Glamazdin I., Zhang Nan* — Research on the application of ultrasonic diagnosis of multilocular echinococcus in the liver in China ..... 182
- Гноевых В.В., Манохин А.В., Смолькина А.В., Янголенко Д.В., Тимербаев И.И.** — Тактика ведения пациентов при сочетанной травме, осложненной кровотечением  
*Gnoevykh V., Manohin A., Smolkina A., Yangolenko D., Timerbaev I.* — Tactics for managing patients with combined trauma complicated with abdominal and pelvic injuries by bleeding ..... 187
- Громов А.Л., Щенин А.В., Фомичев И.В., Никонов Д.В.** — Сравнительный анализ результатов одномоментной и отсроченной дентальной имплантации  
*Gromov A., Shchenin A., Fomichev I., Nikonov D.* — Comparative analysis of immediate and delayed dental implants installation ..... 193
- Дудник А.А., Урядов С.Е., Каткова Е.Е., Стекольников Н.Ю., Имашев А.С.** — Клиническая характеристика органных дисфункций у пациентов с гнойно-некротической инфекцией кожи и мягких тканей  
*Dudnik A., Uryadov S., Katkova E., Stekolnikov N., Imashev A.* — Organ failure types in patients with purulent necrotic infection of the skin and soft tissues ..... 196
- Идрисов Р.И., Симакова И.В., Капралов С.В., Полиданов М.А., Стрижевская В.Н., Бучарская А.Б.** — Возможность применения новых смесей для энтерального зондового питания в комплексной терапии тяжелых хирургических пациентов  
*Idrisov R., Simakova I., Kapralov S., Polidanov M., Strizhevskaya V., Bucharskaya A.* — The possibility of using new mixtures for enteral tube feeding in the complex therapy of severe surgical patients ..... 200
- Масляков В.В., Полиданов М.А., Сулаев Е.В., Капралов С.В., Прохницкий А.В., Сафронов Д.В.** — Частота встречаемости аппендикулярного инфильтрата при остром аппендиците  
*Maslyakov V., Polidanov M., Sulaev E., Kapralov S., Prokhmitsky A., Safronov D.* — Incidence of appendicular infiltrate in acute appendicitis ..... 206
- Мустафаева С.М., Мустафаев М.Ш., Мустафаева Ф.М., Габуев И.К., Вороков А.А., Дышекова Ф.Х.** — Применение полимера ПEEK в челюстно-лицевой хирургии и стоматологии: реалии и перспективы (обзор литературы)  
*Mustafayeva S., Mustafayev M., Mustafayeva F., Gabuyev I., Vorokov A., Dyshekova F.* — The realities and prospects of using PEEK polymer in maxillofacial surgery and dentistry: a literature review ..... 210
- Никифоров И.А., Федотов Д.Д., Костюк Г.П., Бурьгина Л.А., Белова М.Ю., Истомина В.В.** — Постковидный синдром (обзор литературы). Часть I  
*Nikiforov I., Fedotov D., Kostyuk G., Burygina L., Belova M., Istomina V.* — Postcovid syndrome (literature review). Part I ..... 218
- Осипова О.Л., Тимашов Е.А., Кормашов Г.М.** — Особенности иннервации перфорантных вен голени

<i>Osipova O., Timashov E., Kormashov G.</i> — Features of innervation of perforant veins of the chib .....	226	на фоне недифференцированной дисплазии соединительной ткани	
<b>Пахомова Ж.В., Торопов (Григорян) К.А., Курскова А.И.</b> — Современные аспекты эпидемиологии и профилактики сердечно- сосудистых заболеваний		<i>Sultanova O., Chernysheva E., Khatamova E., Kadirov I., Butsukina O., Akhmedpashaev G., Rasulzade A.</i> — The relationship between oxypoline levels and depression in patients with acute coronary syndrome on the background undifferentiated dysplasia connective tissue.....	235
<i>Pakhomova Zh., Toropov (Grigoryan) K., Kurskova A.</i> — Modern aspects of the epidemiology and prevention of cardiovascular diseases .....	230	<b>Хафизов И.Р., Рогунов И.В., Аллаязова Л.С., Ахтямова В.Д.</b> — Лицевые дуги: литературный обзор их роли и эффективности в ортопедической стоматологии	
<b>Султанова О.Э., Чернышева Е.Н., Хатамова Э.А., Кадиров И.Х., Буцукина О.Н., Ахмедпашаев Г.Т., Расулзаде А.Г.</b> — Взаимосвязь между уровнем оксипролина и депрессией у пациентов с острым коронарным синдромом		<i>Khafizov I., Rogunov I., Allayazova L., Akhtyamova V.</i> — Facial arcs: a literature review of their role and effectiveness in orthopedic dentistry.....	241
		Наши авторы .....	248

## МИКОФЛОРА ОСНОВНЫХ ПРИТОКОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА И РЕКИ НЕВЫ

**Иофина Ирина Викторовна**

научный сотрудник, Институт озераедения  
РАН — ФИЦ РАН, Санкт-Петербург  
irinaio@yandex.ru

### MYCOFLORA OF LADOGA TRIBUTARIES AND NEVA RIVER

*I. Iofina*

**Summary.** Aquatic fungi in the Ladoga tributaries representing a diverse and dynamic system in which different groups of fungi play an important role in the ecological balance maintaining. There were isolated and identified 25 species, as well as white sterile mycelium. Fungi are divided into several groups depending on their taxonomic affiliation and they are belong to 4 divisions and two kingdoms. Potentially pathogenic terrigenous (opportunistic) species from the genera *Alternaria*, *Saprolegnia*, *Trichoderma*, *Olpidium*, *Penicillium* dominate in all the studied rivers.

**Keywords:** opportunistic fungi, number of aquatic fungi, tributaries of Lake Ladoga, Neva River.

**Аннотация.** Водные грибы в притоках Ладожского озера представляют собой разнообразную и динамичную систему, в которой различные группы грибов играют важную роль в поддержании экологического баланса. Было выделено и идентифицировано 25 видов, а также белый стерильный мицелий. Грибы разделены на несколько групп в зависимости от их таксономической принадлежности и относятся к двум царствам и 4 отделам. Во всех исследованных реках доминируют потенциально патогенные терригенные (оппортунистические) виды из родов *Alternaria*, *Saprolegnia*, *Trichoderma*, *Olpidium*, *Penicillium*.

**Ключевые слова:** оппортунистические грибы, численность водных грибов, притоки Ладожского озера, река Нева.

Ладожское озеро, крупнейшее пресноводное озеро в Европе, является уникальной экосистемой. Важнейшим фактором, влияющим на формирование химического и гидробиологического состава воды озера, является количество и состав веществ, поступающих с водосбора, в котором основная роль принадлежит речному стоку [1,2]. Он дает почти 85 % приходной части водного и свыше 95 % химического баланса озера [3]. Вынос химических веществ и речных гидробионтов (в том числе водных грибов) с водой рек в озеро является интегральным показателем природных условий и хозяйственной деятельности [4,5]. Водные грибы играют важную роль в экосистеме водоема участвуя в разложении органических веществ и поддержании баланса в водной среде [6,7,8,9,10,11,12]. Оценка микофлоры притоков Ладожского озера и истока реки Невы под влиянием природных и антропогенных факторов, проводившаяся в 2024 г. продолжает многолетний микологический ряд наблюдений озера, которые осуществляются с 1982 года по настоящее время [13,14,15]. Цель работы — определение видового состава водных грибов, количественный и сезонный анализ микофлоры в основных притоках Ладожского озера (р. Бурная, Волхов, Свирь) и реки Невы.

#### Методы исследования

Отбор проб на качественный и количественный состав водных грибов притоков Ладожского озера и истока реки Невы проводился в ходе сезонных объездов которые характеризуют гидрологические сезоны: весна

(конец мая — начало июня), лето (июль — август) и осень (октябрь) 2024 г. Единичные точки отбора проб располагались в нижнем течении рек, как можно ближе к устью, отбор производился с мостов при помощи батометра с поверхности в средней части русла. Схема расположения точек отбора проб на притоках озера представлена на рисунке 1. Обследованы были основные притоки озера реки Бурная, Волхов, Свирь и исток реки Нева.



Рис. 1. Расположение точек отбора проб воды на основных притоках Ладожского озера и реки Невы

Образцы отбирали по стандартным методикам [ГОСТ 31861-2012] в пластиковые стерильные банки. Определялась общая численность микопланктона и видовой состав. Для выделения водных грибов был использован метод глубинного посева воды. Объем пробы в опытах был 1 мл воды (в трех повторностях) использовалась агаризованная питательная среда — среда Сабуро. Для подавления роста бактерий к среде добавляли антибиотик левомецетин (25 мг/л). Опыты проводились в чашках Петри. Видовое определение культур осуществлялось по определителям российских и зарубежных авторов [16,17,18,19,20,21], названия таксонов унифицировали с использованием базы данных Index Fungorum (2021) [22]. Общую численность водных грибов выражали в КОЕ/мл. Видовое определение чистых культур водных грибов проводили с использованием светового микроскопа. Статистическую обработку проводили в программе Microsoft Office Excel 2010.

### Результаты и их обсуждение

В основных притоках Ладожского озера и реке Нева было выделено и идентифицировано 25 видов, а также белый стерильный мицелий. Грибы разделены на несколько групп в зависимости от их таксономической принадлежности и относятся к двум царствам и 4 отделам. Доминирует группа факультативных водных грибов терригенного происхождения относящаяся к анаморфным грибам отдела *Ascomycota* (*Penicillium*, *Trichoderma*, *Alternaria*, *Candida*, *Torulopsis*), и отдела *Basidiomycota* — *Rhodotorula rubrum*. Большим разнообразием отличались рода *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Trichoderma* и *Saprolegnia*. Видовой состав представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Водные грибы основных притоков Ладожского озера и р. Невы

Вид	притоки			
	Бурная	Свирь	Волхов	Нева
Fungi <i>Ascomycota</i>				
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	+	+	+	+
<i>Aspergillus flavus</i> Link	+		+	
<i>Aspergillus ustus</i> Bainier Thom et Church	+	+	+	+
<i>Penicillium chrysogenum</i> Thom	+	+	+	+
<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary & Löwenthal) G. Arnaud		+	+	
<i>Cladosporium herbarum</i> Link	+	+	+	+
<i>C. cladosporioides</i> (Fresen.) G.A. de Vries		+	+	

Вид	притоки			
	Бурная	Свирь	Волхов	Нева
<i>Epicoccum nigrum</i> Link			+	
<i>Fusarium sporotrichioides</i> Sherb.		+	+	
<i>Olpidium brassicae</i> (Woronin P.A.) Dang	+	+	+	+
<i>Olpidium allomyces</i> Braun		+		
<i>Olpidium entophyllum</i> (A.Br.) Schroet		+		+
<i>Olpidium rhizophyllum</i> (A.Braun)			+	
<i>Rhizophyllum planctonicum</i> Ag		+	+	+
<i>Rhizophyllum pollinis</i> Schenk			+	+
<i>Torulopsis candida</i> (Saito) Lodder	+		+	
<i>Trichoderma viride</i> Pers	+	+	+	+
<i>Trichoderma koningii</i> Oudem	+	+	+	+
Basidiomycota				
<i>Rhodotorula rubrum</i> (Schimon) F.C. Harrison, Nouveau Traité Méd	+	+	+	+
Mucoromycota				
<i>Mucor circinelloides</i> v.Tiegh	+	+	+	+
<i>Rhizopus nigricans</i> Ehreub		+		+
Chromista Oomycota				
<i>Leptomyces lacteus</i> Ag.				+
<i>Leptolegnia candida</i> Cornu			+	
<i>Saprolegnia parasitica</i> Coker		+	+	
<i>Saprolegnia ferax</i> Thuret	+	+	+	+
<i>Woronina polycystis</i> Cornu		+	+	
Стерильный мицелий	+	+	+	+

Наиболее интенсивное развитие микопланктона отмечено в реке Волхов, что очевидно связано с повышенным содержанием фосфора в воде, которое обусловлено как особенностями природных условий, так и хозяйственной деятельностью на южной части Ладожского водосбора [4,5,13,14,15]. Численность водных грибов составляла 15 КОЕ/мл весной, 25 КОЕ/мл летом и незначительно опускалась осенью до 20 КОЕ/мл. Значительный объем водного стока делает р. Волхов главным источником поступления фосфора в озеро с водосбора. Основным источником поступления соединений фосфора в эту реку многие годы оставались сточные воды предприятия ОАО «Волховский алюминий» [4,5].

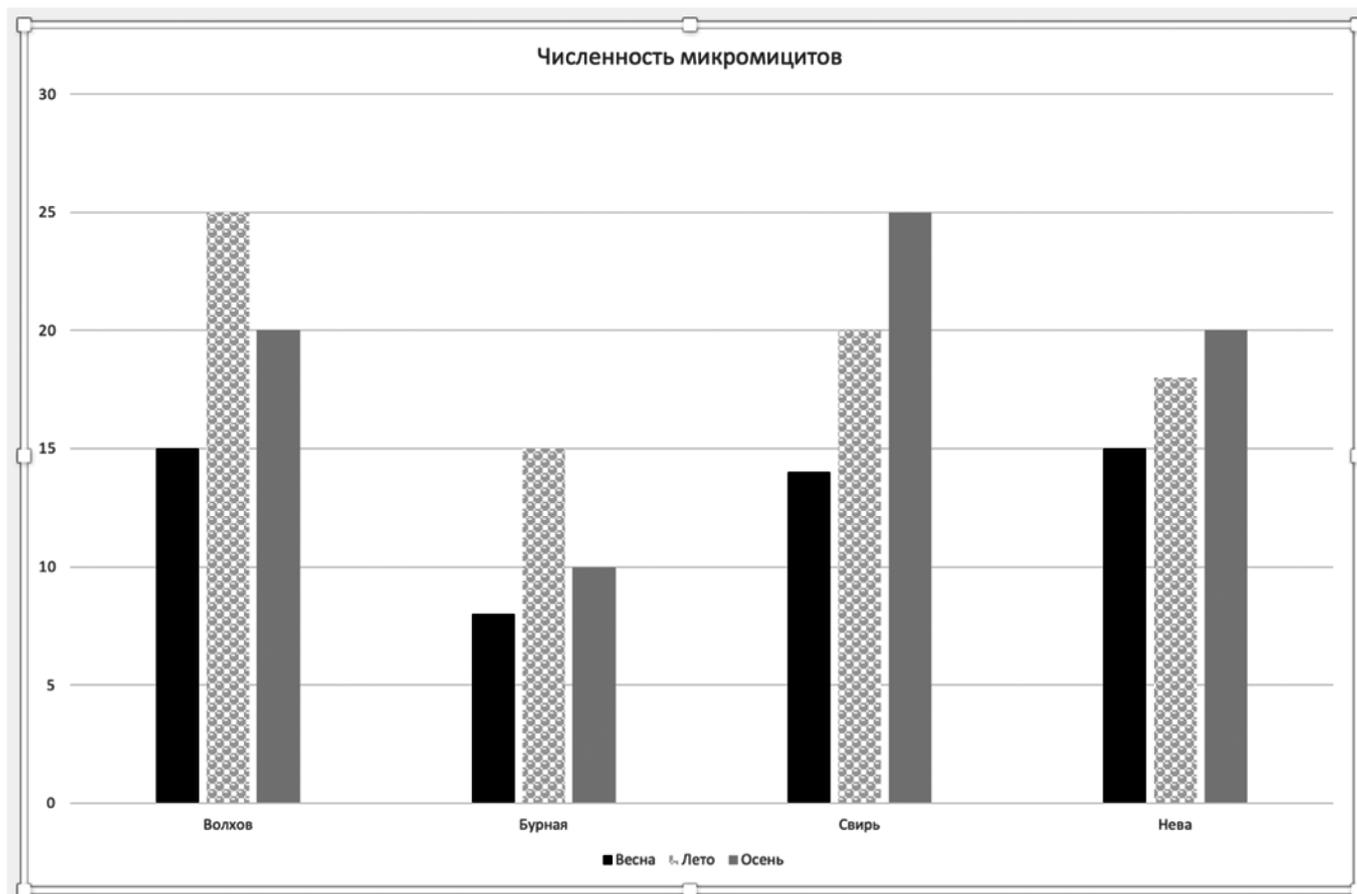


Рис. 2. Сравнительная численность водных грибов (КОЕ/мл) в притоках Ладожского озера и реке Неве

Наименьшее содержание фосфора характерно для р. Бурная и Свирь, которые отличаются большой зарегулированностью стока и высокой озерностью водосбора [4,5]. При этом в р. Бурная регистрировалась сравнительно низкая по сравнению с другими реками, численность во все наблюдаемые сезоны (Рис. 2).

Химический состав воды р. Нева в целом определяется гидрохимическим режимом Ладожского озера и в основном соответствует составу основной водной массы озера [4,5]. Количественные характеристики составляли 15 КОЕ/мл весной, 18 КОЕ/мл летом и с небольшим повышением до 20 КОЕ/мл осенью. Следует отметить, что в 2024 г. показатели, характеризующие содержание органического вещества в воде обследованных рек, оставались в пределах многолетнего диапазона и сезонные изменения были выражены слабо [5].

Таким образом, в исследованных реках было выделено и идентифицировано 25 видов, а также белый стерильный мицелий, по таксономической принадлежности они относятся к двум царствам и 4 отделам. Во всех исследованных реках доминируют потенциально патогенные терригенные (оппортунистические) виды

из родов *Alternaria*, *Saprolegnia*, *Trichoderma*, *Olpidium*, *Penicillium*, а также регистрировались случаи паразитирования на планктонных водорослях *Asterionella formosa*, *Melosira islandica*. Наибольшее видовое разнообразие отмечалось в реке Волхов. Высокая численность характерна для всех притоков в летний период, однако в реке Свирь количественные показатели осенью значительно превысили летние.

Изучение видового состава и сезонной динамики численности водных грибов в притоках Ладожского озера позволяет лучше понять их роль в экосистеме озера и углубить знания об их взаимосвязях с другими организмами.

Автор выражает глубокую признательность научному сотруднику лаборатории гидрохимии ИНОЗ РАН — ФИЦ СПб Т.Н.Петровой за ценные консультации.

Работа выполнена по программе НИР FFZF — 2024—0001. Экосистемы Ладожского озера, водоемов его бассейна и прилегающих территорий в условиях воздействия природных и антропогенных факторов на фоне климатических изменений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Расплетина Г.Ф., Кулиш Т.П., Петрова Т.Н. Гидрохимическая характеристика рек — притоков Ладожского озера и р. Невы. // Оценка экологического состояния рек бассейна Ладожского озера по гидрохимическим показателям и структуре гидробиоценозов / Под ред. Трифионовой И.С. СПб.: Изд-во «Лема». 2006. — С.11–35.
2. Петрова Т.Н. Игнатъева Н.В. Биогенные элементы // Ладога. / Под ред. Румянцева В.А., Кондратьева С.А. СПб., 2013. — С.187 — 201.
3. Соловьева Н.Ф. Гидрохимия притоков Ладожского озера и Невы. // Гидрохимия и гидрооптика Ладожского озера. Л., 1967. — С. 5–59.
4. Петрова Т.Н., Игнатъева Н.В. Биогенные элементы // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Под ред. Кондратьева С.А., Позднякова Ш.Р., Румянцева В.А. Москва, 2021. — С.258–270.
5. Петрова Т.Н., Игнатъева Н.В. Органическое вещество // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Под ред. Кондратьева С.А., Позднякова Ш.Р., Румянцева В.А. Москва, 2021а. — С.258–270.
6. Воронин Л.В. Микобиота малых озер тундровой и лесной зон. Ярослав.: ЯГПУ. 2010. — 155 с.
7. Воронин Л.В., Копытина Н.И. Микобиота отмерших фрагментов тростника, погруженных в воду (Ярославская обл., Россия). // Журнал Биология внутренних вод. 2023. №1. — С. 20–27.
8. Копытина Н.И., Тарасюк И.В. Водные грибы пелагиали авандельты реки Дунай. // Микробиология і біотехнологія. 2010. — №1. — С. 37–42.
9. Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. — 196 с.
10. Марфенина О.Е., Фомичева Г.М. Потенциально патогенные мицелиальные грибы в среде обитания. Современные тенденции // Микология сегодня / Ред. Ю.Т. Дьякова и Ю.В. Сергеева. М.: Нац. акад. микологии, 2007. — С. 235–266.
11. Luo J., Yin J., Cai L. et al. Freshwater fungi in Lake Diachi, a heavy polluted lake in Yunnan, China // Fungal Diversity. 2004. V 16. — P.93.
12. Курашов Е.А., Барбашова М.А., Дудакова Д.С., Капустина Л.Л., Митрукова Г.Г., Русанов А.Г., Алешина Д.Г., Иофина И.В., Протопопова Е.В., Родионова Н.В., Трифионова И.С. Экосистема Ладожского озера: современное состояние и тенденции ее изменения в конце XX — начале XXI века // Биосфера. 2018. Т. 10. № 2. — С. 66–121. — DOI:10.24855/BIOSFERA.V.1012.439
13. Иофина И.В. Современное состояние водной микофлоры Ладожского озера. // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 4. — С.77–83. — DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.4.77.83>
14. Иофина И.В. Водные микромицеты прибрежного района Ладожского озера. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024. №01. — С. 12–14. — DOI:10.37882/2223-2966.2024.01.17
15. Гарибова Л.В., Лекомцева С.Н. Основы микологии. Москва: Ф. 2005.- 221 с.
16. Егорова Л.Н. Почвенные грибы Дальнего Востока: гифомицеты. Наука: Л. 1986. — 192 с.
17. Милько А.А. Систематика рода *Saprolegnia*. // Микол. и фитопат. 1979. Т.3, Вып. 4. — С. 288.
18. Саттон Д., Фотергил А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М.: Мир, 2001. — 468 с.
19. Domsch K.H., Gams W., Anderson T.-H. Compendium of soil fungi. THW-Verlag. Eching. 2007. — 672 p.
20. Klish M.A. Identification of common *Aspergillus* species. Utrecht. 2002. — P.116.
21. Index Fungorum 2021-IndexFungorum [Internrt] Royal Botanic Garden Kew Available from <http://indexfungorum.org/names/Names.asp> (Accessed on November 01-30,2021)

# ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РОСТ И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАЦИОНАРА

## THE INFLUENCE OF AGROCLIMATIC CONDITIONS ON THE GROWTH AND YIELD OF WINTER WHEAT IN THE CONDITIONS OF THE AGROECOLOGICAL STATION

**N. Lagutina  
T. Dzhancharov  
A. Yevgrafov  
D. Shalamov  
M. Kutenkova**

*Summary.* On the territory of the ecological station, we conducted an experiment to assess the productivity of grain crops. The methodology of the study is based on the analysis of the influence of weather conditions on the growth and development of winter wheat, as well as the resulting harvest. A psychrometric booth with dry and wet thermometers was used to measure the air temperature. Relative air humidity is the ratio of absolute air humidity to the density of saturated water vapor at the same temperature, expressed as a percentage. The amount of sunlight was determined in hours using a pyranometer. An anemometer was used to determine wind speed in m/s.

*Keywords:* winter wheat, abiotic factors, weather conditions, bioproductivity, sowing, harvest.

**Лагутина Наталия Владимировна**  
канд. тех. наук,

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва  
nlagutina@rgau-msha.ru

**Джанчаров Турмушбек Мурзабекович**  
канд. биол. наук,

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва  
tdzhancharov@rgau-msha.ru

**Евграфов Алексей Викторович**  
канд. тех. наук,

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва  
a.evgrafov@rgau-msha.ru

**Шаламов Дмитрий Игоревич**  
Ассистент,

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва  
shalamov.dmitrii@rgau-msha.ru

**Кутенкова Мария Викторовна**

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва  
kutenkovamaria@gmail.com

*Аннотация.* На территории экологического стационара нами был проведен эксперимент по оценке продуктивности зерновых культур. Методология исследования основывается на анализе влияния погодных условий на рост и развитие озимой пшеницы, а также получаемого урожая. Для измерения температуры воздуха использовалась психометрическая будка с сухим и влажным термометрами. Относительная влажность воздуха, представляет собой соотношение абсолютной влажности воздуха к плотности насыщенного водяного пара при той же температуре, выражаемой в процентах. Количество солнечного света определялось в часах с помощью пиранометра. Анемометр использовали для определения скорости ветра в м/с.

*Ключевые слова:* озимая пшеница, абиотические факторы, погодные условия, биопродуктивность, посев, урожай.

## Введение

Одним из ключевых аспектов, влияющих на развитие растений, являются абиотические факторы, поскольку именно они оказывают наибольшее воздействие на растительную жизнь. Современные глобальные изменения климата выдвигают новые вызовы для аграрных наук, что подчеркивает актуальность данной проблемы.

Изменения температуры, уровня осадков, влажности и концентрации углекислого газа оказывают значительное влияние на процессы фотосинтеза, дыхания и роста растений. Повышение средней температуры может привести к изменению сроков цветения и плодоношения.

Кроме того, изменение климата способствует увеличению частоты экстремальных погодных явлений — засух, наводнений и ураганов. Эти явления могут разрушать почвенный покров, вызывать эрозию и снижать плодородие земель. В результате, агрономам необходимо адаптировать методы ведения сельского хозяйства, внедрять устойчивые к изменению климата сорта растений и использовать инновационные технологии.

Минеральные удобрения имеют решающее значение для роста и развития пшеницы. В частности, макроэлементы, такие как азот, фосфор и калий, играют наиболее важную роль в этом процессе. Высокий уровень азота в пахотном горизонте способствует активному развитию надземной части растений, в то время как его недоста-

ток может существенно замедлить рост и негативно сказаться на урожайности. Поэтому очень важно правильно выбирать время для внесения азотных удобрений, принимая во внимание разные фазы развития растений. [2]

Для обеспечения оптимальных условий роста и развития пшеницы необходимо поддерживать сбалансированное содержание азота, калия и фосфора в почве. В частности, фосфор играет ключевую роль в формировании колоса, поэтому его уровень следует тщательно контролировать. Азот, в свою очередь, оказывает непосредственное влияние на развитие колоса и его налив, что делает контроль за его содержанием в почве на протяжении всего вегетационного периода критически важным для мониторинга роста и развития растений. [2]

Недостаток азота может привести к снижению урожайности и качества зерна, а также к увеличению восприимчивости растений к болезням и вредителям. С другой стороны, избыток азота может вызвать чрезмерный рост вегетативной массы в ущерб формированию колоса и качеству зерна.

Оптимальное соотношение азота, калия и фосфора может быть достигнуто путем внесения минеральных удобрений в соответствии с агрохимическими анализами почвы и потребностями культуры. Кроме того, важно учитывать влияние других факторов, таких как влажность почвы, температура и освещенность, которые также могут влиять на доступность и эффективность питательных веществ для растений. [1]

*Цель исследования* — провести комплексное исследование влияния агроклиматических условий на рост, развитие и урожайность озимой пшеницы, учитывая региональные особенности и климатические изменения.

*Задачи исследования:*

1. Изучить воздействия погодных условий на развитие озимой пшеницы сорта Юбилейная Тимирязевская в период ее роста.
2. Собрать и проанализировать динамические показатели роста и развития изучаемой культуры.
3. Сопоставление агроклиматических особенностей с ростом и развитием экспериментальной культуры.
4. Собрать и проанализировать качественные характеристики зерна сорта Юбилейная.

Температурный режим оказывает значительное влияние на развитие озимой пшеницы. В зависимости от стадии вегетационного цикла растения, требуются различные температурные диапазоны. Данный вид агрокультуры демонстрирует повышенную устойчивость к низким температурам, однако он также чувствителен к освещению и относится к категории растений длинного светового дня.

Оптимальные условия для прорастания семян и появления всходов предполагают поддержание температуры в диапазоне от +12 до +15°C. В зимний период, после успешной адаптации к холодам, пшеница способна выдерживать снижение температуры до -16°C в области кущения. Сорта с высокой морозостойкостью могут переносить снижение температуры до -20°C. Однако, высокая устойчивость к морозам наблюдается только при наличии снежного покрова и при условии, что у ростков сформировано от 2 до 4 побегов, а в узлах кущения накопилось от 30 до 35 % сахаров.

Весной, с началом возобновления роста, благоприятной для озимой пшеницы является температура от 12 до 15°C. Для фазы стеблевания оптимальная температура составляет 15–16°C, а для фазы цветения — 18–20°C.

Климат Москвы умеренно-континентальный, с четко выраженными сезонами. Погодные условия в данном городе отличаются переменчивостью, резкие перепады температур происходят в течении коротких промежутков времени. Годовая амплитуда температур составляет 28 °C. В среднем морозные дни (особенно с температурой ниже -5 °C) могут составлять от 60 до 70 дней в году. Жаркие дни с температурами выше +25 °C могут длиться около 30–40 дней, но в некоторые годы это количество может существенно увеличиваться, особенно в условиях аномально теплого лета. [12]

На территории экологического стационара выражены Урбанизированные агродерново-подзолистые почвы. Рельеф стационара неоднороден имеются как возвышенности, так и низины, встречаются равнины. Среди ряда равнинных участков располагается пойма реки Жабенка. От нее лучами отходят мелиоративные каналы, построенные в прошлом веке с целью оросительно-осушительных мероприятий. [14,15]

### Приборы и методология исследований

На территории экологического стационара нами был заложен опыт по оценке продуктивности развития зерновых культур. Методика основана на оценке роста растения и связанных с ней погодных условий. [9]

В качестве метеорологических данных изучалось количество солнечной радиации, осадков, относительная влажность, скорость ветра, температура в полдень, как одна из наиболее высоких, и температура в полночь, как одна из наиболее низких, на их основе проводилось нахождение разницы температур.

Осадки измеряются при помощи специализированных емкостей, которые закапываются в землю, а над ними ставится воронка, которая и собирает все осадки с данной поверхности. [3]

Для измерения скорости ветра в рамках данного исследования был задействован анемометр, специализирующийся на мониторинге движения газовых сред в атмосфере или же в вентиляциях. В данном контексте прибор применялся исключительно с целью определения параметров ветрового потока.

Солнечная радиация измеряется с помощью пиранометра, определяющего плотность потока солнечного излучения, выраженного в ваттах на квадратный метр, поступающего с верхней полусферы. В качестве сенсора в пиранометре могут использоваться термодары, покрытые черной краской, или фотодиоды. Датчик помещается под прозрачный стеклянный или пластиковый купол для защиты от внешних воздействий.

#### Предпосевная подготовка

Чтобы узнать, насколько хорошо зерно пшеницы прорастает, применяют специальные методы. Например, можно проращивать его в чашках Петри или на рулонах из фильтровальной бумаги. [4]

Выбирая сорт изучаемого растения, нужно повторить эксперимент с чашками Петри трижды и при этом результат прорастания семян должен составлять примерно 90–95 %. В таком случае основной эксперимент будет иметь меньшую погрешность.

#### Посев и агротехнические приемы

До начала посевных работ на территории стационара был проведён ряд подготовительных действий, среди которых важным шагом стала уборка полей от отходов. Дис-

кование почвы осуществляется перед её обработкой для лучшего рыхления и подготовки грунта к предстоящим посевным работам. Посев озимой пшеницы проводился на поле размером 1,2 гектара 5 сентября 2022 года. [6,10]

#### Фитосанитарный контроль

В период вегетации на территории экологического стационара были обнаружены насекомые-вредители. Среди них была идентифицирована обыкновенная злаковая тля, которая является одним из наиболее распространённых вредителей злаковых культур в центральном регионе Российской Федерации.

#### Результаты анализа погодных условий

Данные о погодных явлениях были перенесены в графический вид и подвергнуты анализу.

За исследуемый период на данной территории наблюдался устойчивый многолетний температурный режим. Осенью температура колебалась в пределах от  $-9,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зимой — от  $-21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , весной — от  $-5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+19,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а летом — от  $+9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 1). [11]

Уровень влажности был признан подходящим, однако были случаи, когда этот параметр приближался к верхним порогам регламентированных значений. Из рисунка 2 видно, что самое высокое среднее значение относительной влажности в ноябре 2022 года. Максимальный уровень влажности на пике активных метеорологических наблюдений, зарегистрированный в отчетной документации, достиг 98 % и отметился

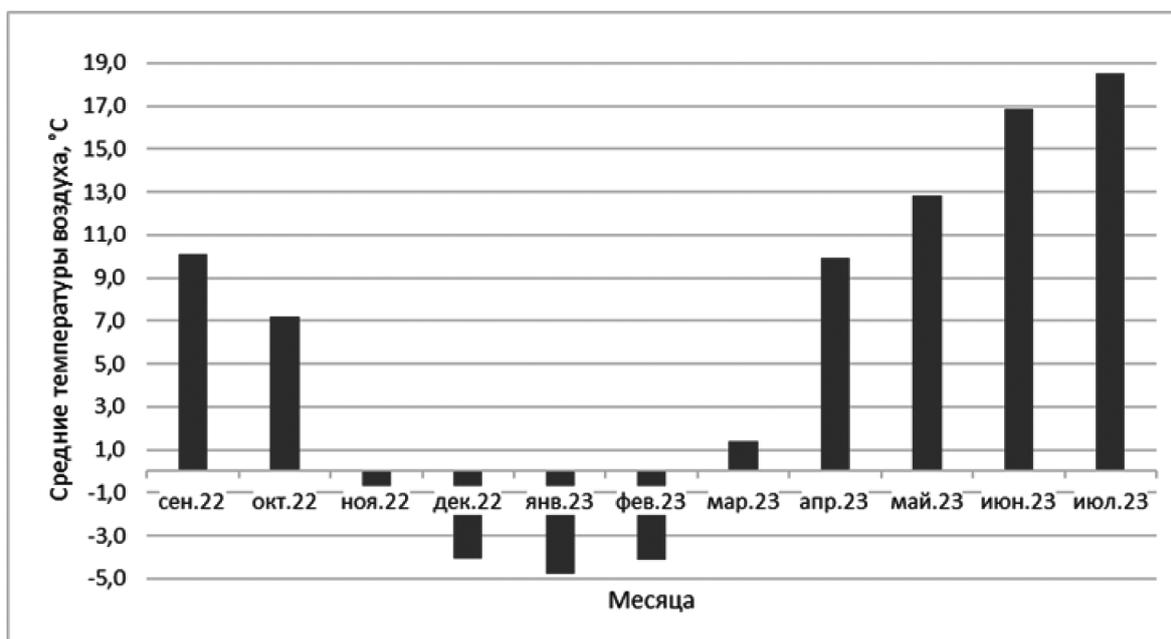


Рис. 1. Средняя температура воздуха каждого месяца за период 2022-2023 гг.

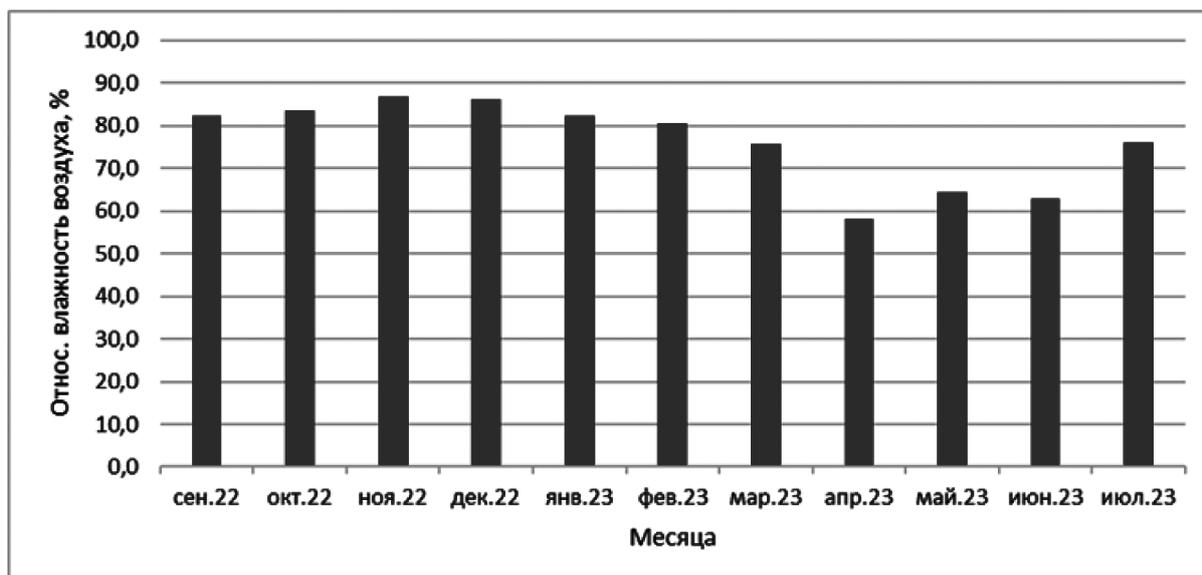


Рис. 2. Среднемесячные показатели относительной влажности воздуха за период 2022–2023 гг.

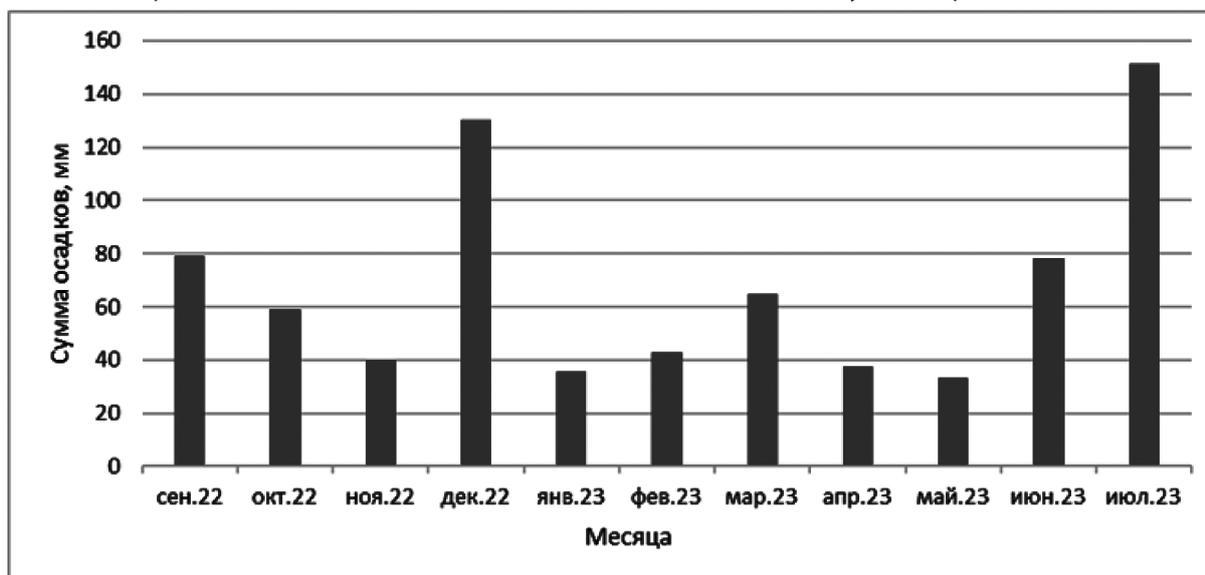


Рис. 3. Количество выпавших осадков за каждый месяц вегетационного периода за 2022–2023 гг.

11 декабря 2022 года. Минимальный уровень влажности был 16 апреля 2023 года и составлял 31 %.

За рассматриваемый период, данные о количестве осадков укладывались в установленные нормативы. Максимальное количество осадков выпало в июле 2023 года, минимальное в мае 2023 года (рис. 3). В декабре 2022 года выпало выше среднемесячной нормы количества осадков по Москве на 75 мм. В Москве в июле в среднем выпадает около 90 мм осадков, в 2022 году выпало 151 мм. Исходя из графика можно сделать вывод, что год выдался удачным на количество осадков, что благоприятно повлияло на рост и развитие озимой пшеницы.

В течение всего периода вегетации количество солнечных дней достигло 193. Самым солнечным месяцем

был июнь (295 часов). Максимальное количество солнечного света за сутки составило 14,3 часов 12 июня 2023 года. Самыми малосолнечными месяцами были ноябрь, декабрь и январь (рис. 4).

Самая высокая среднемесячная скорость ветра наблюдалась в феврале и составляла 3,3 м/с. Самыми ветренными дня были 13.11.2022 и 14.04.2023 скорость ветра составляла 7 и 6 м/с соответственно. Мало ветреным месяцем стал май (рис. 5).

Проанализировав метеоданные за период посадки и выращивания озимой пшеницы можно сделать вывод, что погодные условия были благоприятны для получения хорошего урожая. Зима выдалась многоснежной, разница в температурах днем и ночью была небольшой,

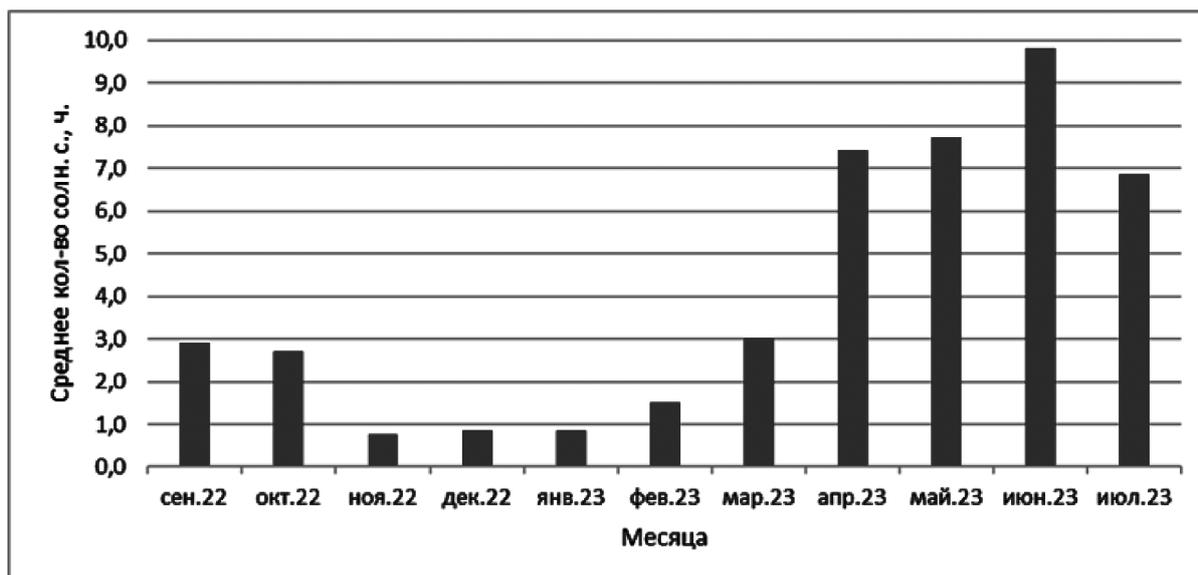


Рис. 4. Среднемесячное количество солнечного света за период 2022–2023 гг.

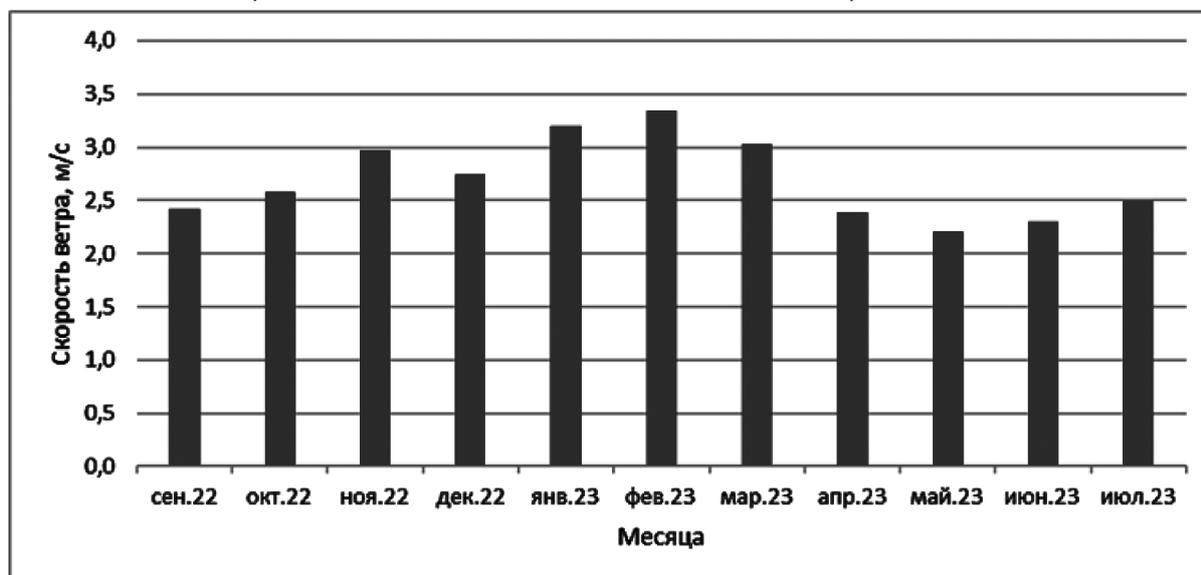


Рис. 5. Среднемесячная скорость ветра 2022–2023 гг.

скорость ветра была не более 5 м/с, благодаря чему поверхность почвы не оголялась. [7,8]

В весенний период разница в температурах днем и ночью большая, что приводит молодые ростки в стрессовое состояние. Однако благодаря снежной зиме, при ночных заморозках ростки подвергались меньшему стрессу. Увлажнение почв обеспечивалось атмосферными осадками, а также снежным покровом. Заморозки закончились в середине марта. В среднем за сутки в марте солнечного света было по 3 часа, всего за этот месяц сумма солнечного света составила 93 часа. В апреле и мае ситуация была лучше за сутки выходило в среднем по 7 часов солнечного света, а за весь месяц составило 223 и 239 часов соответственно.

В июне и июле диапазон температуры за сутки был не большой. За июнь было всего 9 дней, характеризующихся слабым уровнем стресса и один день с средним уровнем стресса, что свидетельствует о стабильности температуры. В июле же было 2 дня среднего уровня стресса и один — малого. Количество осадков за июнь составило 78мм, это чуть больше среднемноголетней нормы. Июль же выдался дождливым. Всего за этот месяц выпало 151 мм осадков, что в два раза больше нормы.

Данный сезон оказался благоприятным в контексте исследований погодных условий на рост и развитие изучаемого растения. Достаточное количество солнечного света, осадков, влажности и температуры позволили получить хороший урожай озимой пшеницы с точки зрения количества и качества. [5]

**Результаты анализа качественных характеристик пшеницы**

Сбор урожая проводился 20 июля 2023 года. Урожайность составила 67 ц/га, из них были отобраны 100 колосов для проведения исследований.

Для оценки качественных характеристик зерен озимой пшеницы были исследованы физико-химические параметры. В частности, анализировались такие показатели, как длина колоса, количество зерен в колосе, размеры отдельных зёрен, их масса, общая масса урожая, а также степень стекловидности, натурная масса, содержание влаги, белка и клейковины.

На основе изученных физических данных больше всего оказалось средних зерен (от 0,7 см до 0,8 см). Средняя масса зерен в одном колосе составила 2,17 г, общая масса зерен составила 217,77 грамм, средняя длина колоска была 9,2 см.

В ходе эксперимента, направленного на оценку натурально-физических характеристик зерна, была использована Pfeuffer пурка. В результате измерений установлено, что масса одного литра зерна озимой пшеницы составляет 782 грамма, а плотность — 0,782 г/мл. Эти показатели превышают нормативные значения, которые обычно находятся в диапазоне 0,54–0,62 г/мл (согласно таблице 1).

Превышение натурности зёрен может свидетельствовать о повышенном содержании влаги в зерновой массе. Это, в свою очередь, может негативно сказаться на качестве хлебобулочных изделий и их характеристиках.

Таблица 1.

Результаты определения натурности озимой пшеницы

Физические величины, ед. измерения	Значения
Вес/ масса, г	782
Объём, мл	100
Кубический корень объёма, мл	10
Плотность, г/мл	0,782

При определении стекловидности было взято 100 семян, проанализированы и результаты были закодированы в таблицу, где М — мучнистое зерно, Ч — частично стекловидное, С — стекловидное (табл. 2).

Основываясь на таблице 2 построили круговую диаграмму для лучше наглядности распределения данных стекловидности зерна.

Диаграмма 1.

Результаты исследования на стекловидность

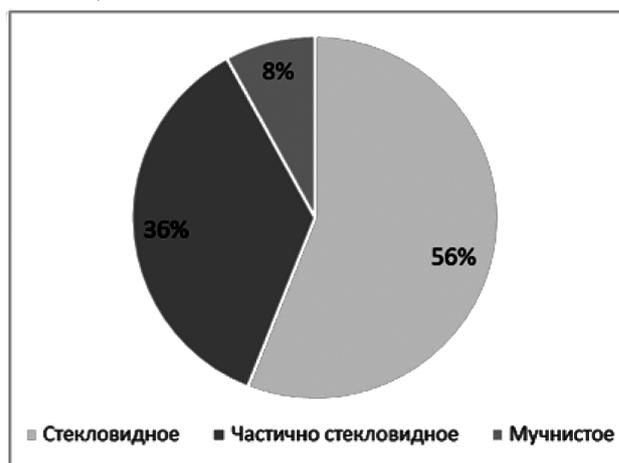


Таблица 2.

Результаты анализа 100 семян озимой пшеницы сорта Юбилейная на стекловидность

№	Результат									
	М	Ч	С	Ч	С	С	С	С	Ч	С
1	М	Ч	С	Ч	С	С	С	С	Ч	С
2	Ч	С	С	С	С	Ч	С	Ч	С	С
3	С	Ч	Ч	М	Ч	С	М	Ч	С	С
4	С	Ч	Ч	С	С	С	С	С	С	Ч
5	С	Ч	С	С	Ч	С	С	М	С	С
6	С	С	Ч	М	Ч	С	С	Ч	Ч	С
7	Ч	Ч	Ч	С	С	Ч	Ч	С	С	С
8	М	Ч	С	С	Ч	Ч	Ч	С	С	Ч
9	Ч	С	Ч	М	Ч	С	С	С	М	С
10	С	С	Ч	Ч	С	Ч	С	С	Ч	С

Из диаграммы 1 видно, что зерно относится к средне-стекловидной группе — 56 из 100, что является хорошим показателем для пшеницы.

Для проведения химического анализа были измельчены зерна с использованием электрической мельницы. Полученная пшеничная мука была загружена в инфракрасный анализатор ИНФРАСКАН-1050. Полученные данные были занесены в таблицу и подвергнуты анализу.

Таблица 3.

Качественные показатели пшеничной муки озимой пшеницы сорта Юбилейная Тимирязевская

Показатель качества, ед. измерения	Значения	Норма
Белок (протеин), %	14,44	8–25
Влага, %	14,22	14–16
Клейковина, %	24,16	18–36

На основании проведённых расчётов можно сделать вывод о повышенной плотности пшеничной муки, что отражено в таблице 3. Это свидетельствует о высоком содержании белковых веществ в муке и обеспечивает значительное количество сырой клейковины с высокими упругими свойствами и низкой пластичностью. Такие характеристики способствуют высокой газодерживающей способности теста, что, в свою очередь, придаёт хлебу правильную форму, значительный объём и оптимальную пористость. [13]

Качественные показатели пшеничной муки соответствуют установленным нормам, что указывает на высокое качество исходного зерна, пригодного для производства муки и хлебобулочных изделий.

### Заключение

1. Проведя исследование влияния погодных условий на рост и развитие озимой пшеницы, мы пришли к выводу о том, что агроклиматические факторы значительно оказывают влияние на растения.
2. Для анализа качественных характеристик роста и развития озимой пшеницы мы использовали такие показатели как длина колоска, количество зерен в колоске, размер зерна, вес отдельного зерна и их общая масса. Проанализировав собранные данные получили, что урожай составил 67 ц/га, колоски были среднего размера, зерно также в среднем было среднего размера. Общая масса всех зёрен в колоске составила 217,77 г, а средняя масса одного зернышка — 2,17 г.
3. В текущем сезоне были зафиксированы благоприятные погодные условия для изучения влияния климатических факторов на рост и развитие исследуемой культуры. Достаточное количество солнечного света, а также оптимальные показатели осадков, влажности и температуры способствовали формированию высокого урожая озимой пшеницы (67 ц/га), как с точки зрения его количественных, так и качественных характеристик.
4. В результате анализа качественных характеристик зерна сорта «Юбилейная» можно заключить, что зерно озимой пшеницы демонстрирует высокие показатели стекловидности (вторая степень) и натуры, что свидетельствует о его высоком качестве. Содержание белка и клейковины находится в пределах нормы, а уровень влажности соответствует установленным стандартам. Это подтверждает пригодность зерна для использования в пищевой промышленности и производстве различных продуктов, включая муку, хлеб и другие хлебобулочные изделия.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аккумуляция кадмия в овощных культурах в зависимости от условий минерального питания / Б.А. Ягодин, В.Н. Маркелова, И.В. Панферова [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. — 1993. — № 2. — С. 126–134.
2. Влияние абиотических факторов на рост и развитие яровых растений в условиях Экологического стационара / Т.М. Джанчаров, Д.И. Шаламов, А.Т. Котрелева // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2024. — № 4–2. — С. 10–16.
3. Выездная учебная практика экологов. Яшин И.М., Васнев И.И., Постников Д.А., Атанбеков Р.А., Таллер Е.Б., Джанчаров Т.М., Рамазанов С.Р., Черников В.А., Прохоров И.С., Морев Д.В. Москва, 2015.
4. Ивенин, В.В. оптимизация биологических и химических факторов при возделывании яровой пшеницы / В.В. Ивенин [и др.] // Земледелие и его ресурсное обеспечение. Матриалы научно-практ. конференции. — Н. Новгород, 2010. — 44–49.
5. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы. / Москва: Изд-во ВНИИА, 2012, 512 с.
6. Методика закладки опытов с влаголюбивыми культурами (мох, тростник, рогоз) в условиях городских экосистем. Шаламов Д.И., Джанчаров Т.М. Агрехимический вестник. 2022. № 3. С. 74–78.
7. Методические указания. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых. ВИР: пополнение, сохранение и изучение (под ред. Вишняковой М.А.). — СПб.: ООП «КопиР. Групп», 2010 — 142 с.
8. Немченко, В.В. Оптимизация приемов агротехники перспективных сортов яровой пшеницы / В.В. Немченко, А.С. Филиппов // Земледелие. — 2011. — № 6. — С. 15–17.

9. Обработка почвы, как фактор регулирования почвенного плодородия/ А.Ф. Витери, В.И. Турусов, В.М. Гармашов и др. Воронеж: Изд-во «Истоки», 2011. — 208 с.
10. Оценка влияния структуроулучшающих добавок и минеральных удобрений на содержание тяжелых металлов в городских почвах под газонами. Гвоздь В.К., Джанчаров Т.М., Шаламов Д.И., Жевнеров А.В., Васильев Д.А. *Агрехимический вестник*. 2023. № 3. С. 86–90.
11. *Российский статистический ежегодник*. М., 2022–2023.
12. Сборник материалов III международной научно-практической конференции «современные исследования: теория, практика, результаты» (шифр – МКСИ) «ЦРОН», г. Москва 2024 г. — С. 276.
13. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024623198 Российская Федерация. «Эффективное внедрение биопрепаратов в аграрном секторе на примере препаратов фирмы ООО «Живые бактерии»: № 2024622646: заявл. 21.06.2024: опубл. 18.07.2024 / Т.М. Джанчаров, Н.В. Лагутина, А.В. Евграфов, Д.И. Шаламов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева».
14. Технология посадки рогоза узколистного на торфяном грунте для достижения максимального накопления органического углерода в почве / В.К. Гвоздь, Д.И. Шаламов // *АгроЭкоИнфо*. — 2023. — № 5(59).
15. Функционально-экологическая оценка пространственно-временной изменчивости эмиссии потоков парниковых газов в посадке ивы пурпурной на городских почвах / М.В. Тихонова, М.Т. Спыну // *Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды : сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка*, Пермь, 22–23 апреля 2021 года. — Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. — С. 430–432.

---

© Лагутина Наталия Владимировна (nlagutina@rgau-msha.ru); Джанчаров Турмушбек Мурзабекович (tdzhancharov@rgau-msha.ru);  
Евграфов Алексей Викторович (a.evgrafov@rgau-msha.ru); Шаламов Дмитрий Игоревич (shalamov.dmitrii@rgau-msha.ru);  
Кутенкова Мария Викторовна (kutenkovamaria@gmail.com)  
*Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»*

# АНАЛИЗ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ШТАММОВ *S. AUREUS*, ЦИРКУЛИРУЮЩИХ В МНОГОПРОФИЛЬНОМ СТАЦИОНАРЕ

## ANALYSIS OF THE GENETIC CHARACTERISTICS OF *S. AUREUS* STRAINS CIRCULATING IN A MULTIDISCIPLINARY HOSPITAL

**A. Tochilina  
I. Belova  
S. Molodtsova  
V. Kropotov  
I. Solovyova**

*Summary. Introduction.* Microbiological monitoring belongs to the most important components of the epidemiologic safety system and allows to observe the variability of epidemically significant microorganisms, their features and circulation. In modern conditions the representatives of ESKAPE group are in the zone of special attention, which often cause hospital infections and complicate the course of the main disease.

*Aims and objectives.* Characterization of phenotypic properties and molecular-genetic features of *S. aureus* strains, assimilated with CAIC, circulating in a multidisciplinary hospital.

*Materials and Methods.* Bacterial identification was performed by MALDI TOF mass spectrometry (Autoflex speed Bruker, Biotyper software); bacterial sensitivity to antibiotics was studied by the disc-diffusion method, and was evaluated according to the criteria of EUCAST v. 13.0. 13.0. Whole-genome sequencing was performed on the MiSeq platform «Illumina Inc.» (USA), processing was performed by the programs Spades v. 3.11.1 and Prokka v1.12. Full genome sequences were analyzed using PubMLST, VFDB, CARD web platforms, SCCmecFinder, VirulensFinder and PathogenFinder programs.

*Results.* *S. aureus* strains circulating in a large hospital and associated with CAIC were found to belong to ten different sequencing types — *S. aureus* ST8, ST45, ST5, ST1, ST398, ST97, ST6, ST707, ST12, ST1027 with predominance of *S. aureus* ST8 t008 SCCmec IV.

*Conclusion.* As a result of this work, the strains of *S. aureus* associated with CAIC circulating in a multidisciplinary hospital have been characterized in detail.

*Keywords:* *S. aureus*, CAIC, full genome sequencing, microbiologic monitoring.

### **Точилина Анна Георгиевна**

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиома человека и средств его коррекции Федеральное бюджетное учреждение науки «Нижегородский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии» им. академика И.Н. Блохиной» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации lab-lb@yandex.ru

### **Белова Ирина Викторовна**

Кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиома человека и средств его коррекции Федеральное бюджетное учреждение науки «Нижегородский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии» им. академика И.Н. Блохиной» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; Приволжский научно-исследовательский медицинский университет

### **Молодцова Светлана Борисовна**

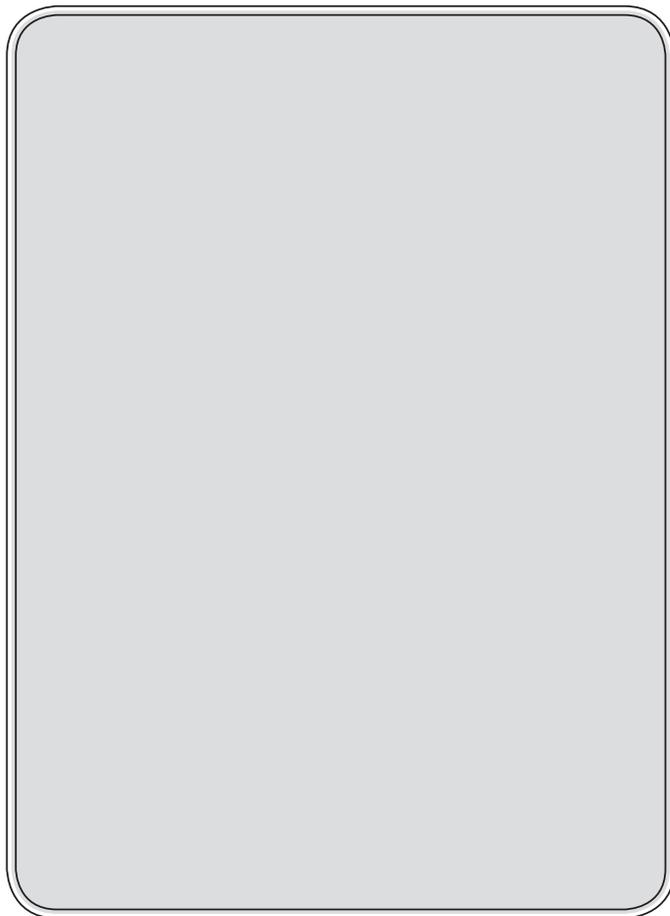
научный сотрудник лаборатории микробиома человека и средств его коррекции, Федеральное бюджетное учреждение науки «Нижегородский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии» им. академика И.Н. Блохиной» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

### **Кропотов Василий Сергеевич**

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиома человека и средств его коррекции, Федеральное бюджетное учреждение науки «Нижегородский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии» им. академика И.Н. Блохиной» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; Приволжский научно-исследовательский медицинский университет

### **Соловьева Ирина Владленовна**

Доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник — зав. лабораторией микробиома человека и средств его коррекции, Федеральное бюджетное учреждение науки «Нижегородский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии» им. академика И.Н. Блохиной» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека



### Введение

**М**икробиологический мониторинг позволяет следить за циркуляцией условно-патогенных микроорганизмов и направлен на обнаружение признаков возможных массовых случаев инфекции. Также к задачам микробиологического мониторинга относится обнаружение новых вариантов госпитальных штаммов и наблюдение за их изменчивостью [1, с. 54].

В настоящее время пристальное внимание уделяется слежению за представителями группы ESKAPE — частой причиной инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (ИСМП), осложняющих течение основного заболевания и представляющих серьезную проблему в плане лечения. Среди представителей этой группы лидирующее положение занимает *S. aureus*, причем вызывает беспокойство растущее распространение штаммов *S. aureus* способных обуславливать развитие катетер ассоциированных инфекций кровотока (КАИК), в том числе из группы MRSA [2, с. 205; 3, с. 401]. Важным этапом эпиднадзора является внутривидовое типирование обнаруженных бактерий, так как это имеет значение для расшифровки спорадической и вспышечной заболеваемости, установления источника инфекции и про-

**Аннотация. Введение.** Микробиологический мониторинг относится к важнейшим составляющим системы эпидемиологической безопасности и позволяет наблюдать за изменчивостью эпидемиологически значимых микроорганизмов, их особенностями и циркуляцией. В современных условиях в зоне особого внимания находятся представители группы ESKAPE, которые часто являются причиной госпитальных инфекций и осложняют течение основного заболевания.

**Цели и задачи.** Характеристика фенотипических свойств и молекулярно-генетических особенностей штаммов *S. aureus*, ассоциированных с КАИК, циркулирующих в многопрофильном стационаре.

**Материалы и методы.** Идентификацию бактерий осуществляли с помощью MALDI TOF масс-спектрометрии (Autoflex speed Bruker, программное обеспечение Biotyper); чувствительность бактерий к антибиотикам изучали диско-диффузионным методом, оценку проводили в соответствии с критериями EUCAST v. 13.0. Полногеномное секвенирование проводили на платформе MiSeq «Illumina Inc.» (США), обработку осуществляли программами Spades v. 3.11.1 и Prokka v1.12. Анализ полногеномных последовательностей проводили с использованием веб-платформ PubMLST, VFDB, CARD, программ SCCmecFinder, VirulensFinder и PathogenFinder.

**Результаты.** Установлено, что штаммы *S. aureus*, циркулирующие в крупном стационаре и ассоциированные с КАИК, принадлежат к десяти различным сиквенс-типам — *S. aureus* ST8, ST45, ST5, ST1, ST398, ST97, ST6, ST707, ST12, ST1027 с преобладанием *S. aureus* ST8 t008 SCCmec IV.

**Заключение.** В результате проведения работы подробно охарактеризованы штаммы *S. aureus*, ассоциированные с КАИК, циркулирующие в многопрофильном стационаре.

**Ключевые слова:** *S. aureus*, КАИК, полногеномное секвенирование, микробиологический мониторинг.

гнозирования развития эпидемиологической ситуации [4, с. 641].

В связи с вышесказанным не вызывает сомнения актуальность цели проводимого исследования: углубленное изучение фенотипических и молекулярно-генетических свойств штаммов *S. aureus*, ассоциированных с КАИК, циркулирующих на территории региона

### Материалы и методы

Были изучены 22 штамма *S. aureus*, ассоциированных с КАИК, циркулирующих в отделении гемодиализа крупного многопрофильного стационара. Штаммы выделены от пациентов (кровь, отделяемое катетера), с объектов внешней среды (смывы) и от персонала (назальный мазок).

Культуры выращивали с использованием питательной среды «Питательный агар для выделения стафилококков — Стафилококк-агар» (ФБУН ГНЦ ПМБ Роспотребнадзора, Оболенск, Россия) с добавлением яичного желтка. Идентификацию бактерий осуществляли методом масс-спектрометрии с помощью времяпролетного MALDI масс-спектрометра Autoflex (Bruker Daltonics, Гер-

мания), оснащенного модифицированным твердотельным лазером.

Чувствительность бактерий к антибиотикам изучали диско-диффузионным методом на «Питательной среде для определения чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам — агаре Мюллер-Хинтон II» (ФБУН ГНЦ ПМБ Роспотребнадзора, Оболенск, Россия) с дисками индикаторными картонными с противомикробными лекарственными средствами ДИ-ПЛС-50-01 (ООО «НИЦФ», СПб, Россия). Оценку проводили в соответствии с критериями EUCAST v. 13.0 [5].

Геномную ДНК выделяли с использованием коммерческого набора QIAamp DNA Mini Kit «QIAGEN» (Германия), секвенирование выполняли на платформе MiSeq «Illumina Inc.» (США). Исходные риды были обработаны утилитой Trimmomatic со стандартными параметрами для Illumina. Затем обработанные риды использовали для сборки генома de novo при помощи программы SPAdes v. 3.11.1 и Prokka v1.12 [6, с. 465; 7, с. 2068].

Анализ данных полногеномного секвенирования: выявление генов патогенности и антибиотикорезистентности проводили с использованием программ VirulensFinder [8], PathogenFinder [9], баз данных VFDB [10, с. 327] и CARD [11, с. 695]. MLST, обнаружение SCCmec каскет *S. aureus* осуществляли с помощью базы данных PubMLST (pubmlst.org) [12] программ Spa-typer и SCCmecFinder [13, с. 4963; 14, с. 88; 15, с. 98].

## Результаты

*Изучение чувствительности к антибиотикам.* При изучении антибиотикорезистентности *S. aureus*, обнаружено, что все штаммы демонстрировали фенотип MDR и были устойчивы к антибиотикам из групп цефалоспоринов, фторхинолонов, тетрациклинов, аминогликозидов, линкозамидов, отдельные штаммы были устойчивы к оксациллину и цефокситину.

### Анализ данных полногеномного секвенирования

В ходе анализа проводили MLST типирование всех штаммов, определение детерминант антибиотикорезистентности и генов патогенности: ответственных за синтез адгезинов, генов иммунного уклонения, системы секреции VII типа, экзоферментов и экзотоксинов (таблица 1).

В геномах всех исследованных штаммов *S. aureus* были обнаружены гены адгезинов — *clfA*, *fnbA*, *fnbB*, *icaA*, *icaB*, *ebp*, *efb*, *sdrC*, *sdrD* *spa*, (эластины, коллагену, фибронектину, фибриногену, витронектину, костному сиалопротеину, тромбоспондину и др.), а также к белку, присутствующему в местах повреждения эндотелия (фактору фон Виллебранда), гены иммунного уклонения, способные

обеспечивать защиту бактерий от действия неспецифического иммунитета хозяина — *sak*, *scn*, *chp*, *sea*, системы секреции VII типа, которая играет ключевую роль в обеспечении выживания и длительной персистенции данного микроорганизма — *esaA*, *esaB*, *esaD*, *esaE*, *esaG*, *essA*, *essC*, *esxA*, *esxB*, *esxC*, *esxD*. Также были обнаружены гены экзоферментов — сериновых и цистеиновых протеаз *sspB*, *sspC*, *sspA*, *splA*, *splB*, *splC*, *splD*, *splE*, *splF*, липаз *geh*, *lip*, гиалуронатлиазы *hysA*, стафилокоагулазы *coa* и термонуклеазы *nuc*, основные функции которых — деградация внеклеточного матрикса, приводящая к диссеминации инфекции, и обеспечение длительной сохранности патогена в условиях внешней среды. Кроме того, в геномах всех штаммов этой группы были обнаружены гены экзотоксинов —  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -гемолизина *hly/hla*, *hlyB*, *hlyG*, *hlyC* и лейкотоксина D (*lukD*). Гемолизины способны повреждать нейтрофилы, вызывать синтез цитокинов и облегчать инвазию в ткани.

Выявлен спектр генов антибиотикорезистентности: детерминанты, обуславливающие устойчивость к антибиотикам из группы гликопептидов (*vanT*), фосфомицину (*murA*, *fosB*), пенициллинам и аминопенициллинам (*blaZ*), эритромицину (*ermC*), тетрациклину (*tetM*) и хлорамфениколу (*cat*). У отдельных штаммов, принадлежащих к 8 и 398 сиквенс-типам, в геномах были обнаружены SCCmec каскеты IV типа, что позволяет отнести их к группе метициллин-резистентных *S. aureus* (Таблица 1).

## Обсуждение

При анализе штаммов *S. aureus*, ассоциированных с КАИК, было установлено, что случаи катетер ассоциированной инфекции кровотока были обусловлены штаммами, принадлежащими к разным сиквенс-типам, как широко распространённым и хорошо изученным — ST8 (CC8) MRSA, ST45 (CC45), ST5 (CC5), ST1 (CC1), ST398 MRSA [16–18] так и к редким — ST97, ST6, ST707, ST12, ST1027.

Преобладали штаммы восьмого, сорок пятого и первого сиквенс типов *S. aureus* (ST8, ST45, ST1). *S. aureus* ST8 входит в состав 8 клонального комплекса *S. aureus* (CC8), представители которого во многих случаях высоковирулентны и способны вызывать тяжелые инвазивные инфекции [16, с. 509]. В международной базе данных Pubmlst (<https://pubmlst.org/>) на настоящий момент имеется информация о 3717 изолятах *S. aureus* ST8, выделенных в разных странах. Сорок пятый сиквенс-тип *S. aureus* (ST45) входит в состав 45 клонального комплекса *S. aureus* (CC45) и относится к «клонам высокого риска» по развитию тяжелых инвазивных заболеваний (бактериемия, сепсис) [17]. В международной базе данных Pubmlst (<https://pubmlst.org/>) на настоящий момент имеется информация о 694 изолятах *S. aureus* ST45, выделенных в разных странах и ассоциированных в том числе с инфекциями кровотока. Все штаммы ST45 об-

Молекулярно-генетическая характеристика штаммов *S. aureus*, ассоциированных с КАИК, циркулирующих в многоприфильном стационаре

Штаммы <i>S. aureus</i> , номер в GenBank	Генотип	Spa-тип	Экзотоксины	Гены антибиотикорезистентности
3092 JAVFVQ000000000 3107 JAVGJR000000000 3196 JARQZ000000000 3197 JAVHUC000000000 2226 JAVGJM000000000	ST8	t008 t024 t008 t008 t008	<i>hly/hla, hlb, hlgA, hlgB, hlgC, lukD</i>	<i>vanT, murA, fosB, SCCmec</i>
3082 JAQFVY000000000 3094 JAVROA000000000 3102 JAVGJK000000000 2204 JAVBWQ000000000	ST45	t102 t5132 t8416 t362	<i>hly/hla, hlb, hlgA, hlgB, hlgC, sec, sel, sem, seo</i>	<i>vanT, murA</i>
3086 JAQFWB000000000 3087 JAQFWC000000000 3088 JAVGJI000000000	ST1	t127 t127 t127	<i>hly/hla, hlb, hlgA, hlgB, hlgC, hld, seg, sek, seo, lukD</i>	<i>ermC, vanT, blaZ</i>
3085 JAQFWA000000000 2219 JAQFWD000000000	ST5	t002 t688	<i>hly/hla, hlb, hlgA, hlgB, hlgC, sec, sel, seo, sep, lukD</i>	<i>fosB, vanT, ermC</i>
3100 JAVGJQ000000000 3133 JAVROB000000000	ST 398	t571 t011	<i>hly/hla, hlb, hlgA, hlgB, hlgC</i>	<i>tetM, vanT, SCCmec</i>
2215 JAVCZC000000000 2217 JAVCZD000000000	ST 1027	t unknown	<i>hly/hla, hlb, hlgA, hlgB, hlgC, lukD</i>	<i>vanT, murA, GlpT</i>
3101 JAVGJP000000000	ST97	t267	<i>hly/hla, hlb, hlgA, hlgB, hlgC, lukD</i>	<i>vanT, cat</i>
3089 JAVGJJ000000000	ST6	t unknown	<i>hly/hla, hlgA, hlgB, hlgC, lukD</i>	<i>vanT, blaZ</i>
3096 JAVHUA000000000	ST 707	t unknown	<i>hly/hla, hld, hlgA, hlgB, hlgC, sen, lukD, tsst</i>	<i>blaZ, vanT, murA, GlpT</i>
2209 JAVBWR000000000	ST12	t156	<i>hly/hla, hlb, hlgA, hlgB, hlgC</i>	<i>vanT</i>

ладают комплексом генов антибиотикорезистентности, ответственных за формирование устойчивости к антибиотикам из группы гликопептидов (*vanT*) и фосфомицину (*murA, fosB*). Сиквенс-тип *S. aureus* ST1 входит в состав 1 клонального комплекса *S. aureus* (CC1), на настоящий момент в международной базе данных Pubmlst имеется информация о 654 изолятах *S. aureus* ST1, выделенных в разных странах мира от здоровых носителей и больных с инфекциями кожи, эндокардитами и бактериемией. В геномах штаммов представлены гены антибиотикорезистентности, ответственные за формирование устойчивости к антибиотикам из группы гликопептидов (*vanT*), пенициллинов и аминопенициллинов (*blaZ*), эри-

тромицину (*ermC*) и тейкопланину (*teicoplanin resistance associated membrane protein*).

Все изученные штаммы обладали выраженным патогенным потенциалом, связанным с наличием генов, детерминирующих синтез адгезинов, экзоферментов, генов иммунного уклонения и экзотоксинов, что обуславливает способность бактерий к длительной персистенции, уклонению от иммунной системы, эффективной инвазии в ткани и активному образованию биопленок. Совокупность описанных свойств штаммов объясняет тот факт, что *S. aureus* являются одним из наиболее значимых возбудителей КАИК [19, с. 334]. В геномах всех

исследованных штаммов *S. aureus*, обнаружены детерминанты резистентности к антибиотикам из группы гликопептидов, пенициллинов и аминопенициллинов, фосфомицину, эритромицину, тетрациклину, что соотносится с их фенотипической резистентностью. У штаммов, принадлежащих к ST8 и ST398, присутствует SCCmec кассета IV типа, что позволяет отнести их к группе MRSA.

Таким образом, в результате проведенных исследований были изучены фенотипические и молекулярно-генетические свойства эпидемически значимых штаммов *S. aureus*, циркулирующих в многопрофильном стационаре.

Показано, что циркулирующие в регионе штаммы *S. aureus*, ассоциированные с КАИК, не однородны по фенотипу и генотипу: всего обнаружено 10 сиквенс-типов, как широко распространенных и хорошо изученных — ST8, ST45, ST5, ST1, ST398, так и редких — ST97, ST6, ST707, ST12, ST1027, преимущественно выделялись штаммы молекулярного типа *S. aureus* ST8 t008 SCCmec IV. Полученные данные свидетельствуют о необходимости проведения в стационаре профилактических противоэпидемических мероприятий с целью недопущения возникновения и распространения вспышек ИСМП.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зубков В.В., Любасовская Л.А., Рюмина И.И. и др. Микробиологический мониторинг в системе инфекционного контроля неонатальных стационаров. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2014; 59(1): 51–56.
2. Романов А.В., Дехнич А.В., Эйдельштейн М.В. Молекулярная эпидемиология штаммов *Staphylococcus aureus* в детских стационарах России. Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2012; 14(3): 201–208.
3. Воронина О.Л., Кунда М.С., Рыжова Н.Н. и др. Геномные особенности резистентных изолятов *Klebsiella pneumoniae*, выделенных из кровяного русла и ликвора пациентов детского стационара. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2023; 100(6):399–409. DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-430>.
4. Федотова О.С., Захарова Ю.А., Остапчук А.В. и др. Фенотипический профиль актуальных полирезистентных сиквенс-типов (ST 1167, ST 944, ST 208) *Acinetobacter baumannii*. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2021; 98 (6): 639–647. DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-170>.
5. EUCAST. Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters. Version 13.0. Available at: <https://www.antibiotic.ru/eucast/>. Accessed Feb 7, 2024. (<https://www.antibiotic.ru/eucast/>).
6. Bankevich A., Nurk S., Antipov D. et al. SPAdes: a new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing. J. Comput. Biol. 2012; 19 (5): 455–477. DOI: <https://doi.org/10.1089/cmb.2012.0021>
7. Seemann T. Prokka: rapid prokaryotic genome annotation. Bioinformatics. 2014; 30 (14): 2068–2069. DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu153>.
8. Malberg Tetzschner A.M., Johnson J.R., Johnston B.D., Lund O., Scheutz F. J. In Silico Genotyping of *Escherichia coli* Isolates for Extraintestinal Virulence Genes by Use of Whole-Genome Sequencing Data. Clin. Microbiol. 2020. 58(10): e01269-20. doi:10.1128/JCM.01269-20.
9. Cosentino S., Voldby Larsen M., Møller Aarestrup F., Lund O. PathogenFinder — Distinguishing Friend from Foe Using Bacterial Whole Genome Sequence Data. PLoS ONE. 2013; 8(10): e77302.
10. Chen L. H., Yang J., Yu J. et al. 16VFDB: a reference database for bacterial virulence factors. Nucleic Acids Research. 2005; 33 (1): D. 325–328. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gki008>.
11. Alcock B.P., William H., Romeo C. et al. CARD 2023: Expanded Curation, Support for Machine Learning, and Resistome Prediction at the Comprehensive Antibiotic Resistance Database. Nucleic Acids Research. 2023; 51 (1): 690–699. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkac920>.
12. Jolley K.A., Bray J.E., Maiden M.C.J. Open-access bacterial population genomics: BIGSdb software, the PubMLST.org website and their applications. Wellcome open research. 2018; 3: 124. DOI: <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.14826.1>.
13. Classification of staphylococcal cassette chromosome mec (SCCmec): guidelines for reporting novel SCCmec elements / International Working Group on The Classification of Staphylococcal Cassette Chromosome Elements (IWG-SCC). Antimicrob Agents Chemother. 2009; 56 (12): 4961–4967. DOI: <https://doi.org/10.1128/AAC.00579-09>.
14. International Working Group on The Classification of Staphylococcal Cassette Chromosome Elements (IWG-SCC). Classification of staphylococcal cassette chromosome mec (SCCmec): guidelines for reporting novel SCCmec elements. Antimicrob Agents Chemother. 2009 Dec; 56(12):4961-7 PMID: 19721075
15. Bartels M.D., Petersen A., Worning P. et al. Comparing whole-genome sequencing with Sanger sequencing for spa typing of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. Clin. Microbiol. 2014. 52(12): 4305-8. SPA
16. Wang X., Zhao H., Wang B. et al. Identification of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* ST8 isolates in China with potential high virulence. Emerging microbes and infections. 2022; 11 (1): 507–518. DOI: <https://doi.org/10.1080/22221751.2022.2031310>.
17. Effelsberg N., Stegger M., Peitzmann L. et al. Global Epidemiology and Evolutionary History of *Staphylococcus aureus* ST45. Journal of clinical microbiology. 2020; 59 (1): e02198–02220. DOI: <https://doi.org/10.1128/JCM.02198-20>.
18. Jian Y., Zhao L., Zhao N. et al. Increasing prevalence of hypervirulent ST5 methicillin susceptible *Staphylococcus aureus* subtype poses a serious clinical threat. Emerging microbes & infections. 2021; 10 (1): 109–122. DOI: <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1868950>.
19. Станько О.В., Якубцевич Р.Э., Балла А.А., Дубровщик А.В. Катетер-ассоциированные инфекции кровотока в интенсивной терапии — современное состояние проблемы. Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2023; 21 (4): 327–336. DOI 10.25298/2221-8785-2023-21-4-327-336.

# ПОЛУВОДНЫЕ ГРЫЗУНЫ ЦЕНТРАЛЬНО-ЯКУТСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

**Чибыев Вадим Юрьевич**

к.б.н., директор Зоологический музей,  
Северо-Восточный федеральный университет  
имени М.К. Аммосова, Республика Саха (Якутия)  
Midav\_64@mail.ru

**Новгородова Жанна Николаевна**

ведущий методист, Зоологический музей,  
Северо-Восточный федеральный университет  
имени М.К. Аммосова, Республика Саха (Якутия)  
zoomuzei@mail.ru

## SEMI-AQUATIC RODENTS OF THE CENTRAL YAKUT LOWLAND

**V. Chibiyev  
Zh. Novgorodova**

**Summary.** The modern fauna of semi-aquatic rodents of Central Yakutia was formed in the middle of the 20th century. after the acclimatization of the muskrat (*Ondatra zibethica* L.) on the territory of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic (1939–1956). The native species are the water vole (*Arvicola terrestris* L.) and the root vole (*Microtus oeconomus* Pallas).

Human intervention to enrich the commercial fauna contributed to the formation of new interspecific relationships. All of the above species live and feed mainly in water bodies and adjacent biotopes.

It is known that invasive species, coming into contact with populations of native species, significantly transform the structure of biogeocenoses, and their appearance has ecological, economic significance, and sometimes social consequences.

The article presents the ecology of semi-aquatic rodents of the Central Yakut Lowland, as a genus competing for resources and ecological niches, the limitation of which is a direct factor limiting the dynamics of their populations.

A comprehensive analysis of the existing biocenotic relationships that arose in the process of food and spatial relationships among the group of rodents under consideration in the form of competition, in floodplain and taiga-alas ecosystems. Impact of the introduced species on the native fauna in aquatic and semi-aquatic biocenoses of Central Yakutia. Allows you to use specific examples to assess the state and stability of populations of these species.

**Keywords:** rodents, semi-aquatic, biotope, introduced species, population, species, fauna, ecology, niche.

**Аннотация.** Современная фауна полуводных грызунов Центральной Якутии сформировалась в середине XX в. после акклиматизации ондатры (*Ondatra zibethica* L.) на территории ЯАССР (1939–1956 гг.). Аборигенными видами являются — водяная полевка (*Arvicola terrestris* L.) и полевка-экономка (*Microtus oeconomus* Pallas).

Вмешательство человека с целью обогащения промысловой фауны способствовало формированию новых межвидовых отношений. Все приведенные выше виды обитают и питаются в основном, в водоемах и прилегающих к ним биотопах.

Известно, что виды-вселенцы, вступая в контакт с популяциями видов-аборигенов, существенно преобразуют структуру биogeоценозов, и их появление имеет экологическое, экономическое значение, а иногда социальные последствия.

В статье приводятся экология полуводных грызунов Центрально-Якутской низменности, как конкурирующих за ресурс и экологические ниши род, ограниченность которого является непосредственным фактором, лимитирующим динамику численности их популяций.

Комплексный анализ сложившихся биоценологических связей, возникших в процессе пищевых и пространственных взаимоотношений у рассматриваемой группы грызунов в виде конкуренции, в пойменных и таежно-аласных экосистемах. Воздействие интродуцента на аборигенную фауну в водных и околводных биоценозах Центральной Якутии. Позволяет на конкретных примерах оценить состояние и стабильность популяций этих видов.

**Ключевые слова:** грызуны, полуводные, биотоп, интродуцент, популяция, вид, фауна, экология, ниша.

### Введение

Грызуны водно-болотных биотопов Центрально-якутской низменности составляют особую гильдию полуводных, растительноядных видов, обитающих и добывающих корм в водоемах и прилегающих к ним территориях.

Аборигенными видами, обитающими и добывающими корм, в водоеме и прилегающих биотопах являются водяная полевка (*Arvicola terrestris* L.) и полевка-экономка (*Microtus oeconomus* Pallas.), которые по своей природе и привязанности к водоему входят к обитателям,

приспособившимся к околводному существованию со времен голоцена.

Современная фауна полуводных грызунов Центральной Якутии сформировалась после 40-х годов XX в. следствии акклиматизации ондатры (*Ondatra zibethica* L.) в целях увеличения пушно-меховых заготовок ЯАССР.

Вмешательство человека с целью обогащения промысловой фауны способствовало формированию новых межвидовых отношений. Популяции этих видов во взаимодействии между собой и с преобразуемой человеком средой обитания представляют изменчивую природную

систему, изучение взаимосвязей и закономерностей которой имеет несомненный научный интерес [1].

Комплексный анализ формирования биоценологических связей, возникших в процессе пищевых и пространственных взаимоотношений проявляющиеся у рассматриваемой группы грызунов в виде конкуренции в природе. Влияние *Ondatra zibethica* на аборигенную фауну в водных и околоводных биогеоценозах Центральной Якутии позволяет на конкретных примерах оценить состояние и стабильность динамики численности популяций этих видов.

#### Методика исследования

Пространственное распределение грызунов изучалось методом картирования поселений полевков на стационарных водоемах таежно-аласных биотопах и в близлежащих пойменных территориях, в разные сезоны года в долинах «Эркээни», «Туймаада», «Энсиэли» и островах среднего течения р. Лена. Питание зверьков изучалось путем сбора и определения остатков растений на кормовых столиках (n=517), кормовых камерах нор при их раскопках (n=21). Кроме того, проводились визуальные наблюдения за зверьками вовремя их жировки, осмотр мест кормежки и «кротовин» с определением видов растений с погрызами. Зимнее питание *Ondatra zibethica* изучалось по содержимому желудков (n=2098) и обнаруженным остаткам пищи в кормовых хатках (n=108). Изучение экологии и физиологического состояния животных проводились по общепринятым схемам в камеральных условиях [2; 3; 4; 5].

#### Фаунистический обзор

*Microtus oeconomus* Pallas (1778) — полевка-экономка (по-местному «хаһаастаах бытаһыт», якут.), типичные станции обитания это луговые и лесные болота, заболоченные берега озер, долинные и приозерные разнотравные — злаковые и осоковые луга. Во всех улусах республики во все периоды года встречается в постройках человека. В таежно-аласных ландшафтах Центрально-якутской низменности обитание этого зверька также строго приурочено к пойменным травянистым местообитаниям. Нами выявлено нехарактерный для *M. oeconomus* биотоп как средний пояс аласа со степной растительностью. В этом случае можно согласиться со многими исследователями, что в нехарактерных станциях животные поселяются из-за дефицита типичных для вида местообитаний. В то же время экономка достаточно эврибиотна и может осваивать широкий круг местообитаний.

При изучении экологии и этологического поведения грызуна в регионе характерными местообитаниями *M. oeconomus* являлись: все типы водоемов с прибреж-

ной осоково-злаковой растительностью, заболоченные осоково-кочкарниковые берега травянистых рек. Продольный уклон долин «от — юряхов» обычно незначительный, котловины озер незаметно переходят в долине равнины, поэтому сток замедлен, что приводит к заболачиванию и заkochкаиванию местности.

В долинах средней Лены излюбленными станциями *M. oeconomus* являются прибрежные полосы озер, проток и стариц с богатым травостоем и осоково-кочкарниковые луга [6; 7; 8].

Питание зверька в регионе менее разнообразное, чем у других полевков в связи с небольшим видовым разнообразием растений в оптимальных биотопах — болотах и околоводных станциях (Рис. 1). Недостаточное разнообразие кормовых угодий в регионе сказывается на узкой пищевой специализации вида (табл. 1). Основу кормовой базы составляют вегетативные части травянистых и собственно-водных растений — зеленые листья и стебли, клубни и корневища, прикорневые бесхлорофилльные части злаков и осок. В меньшем количестве поедаются побеги кустарников, ягоды и животные корма (беспозвоночные).

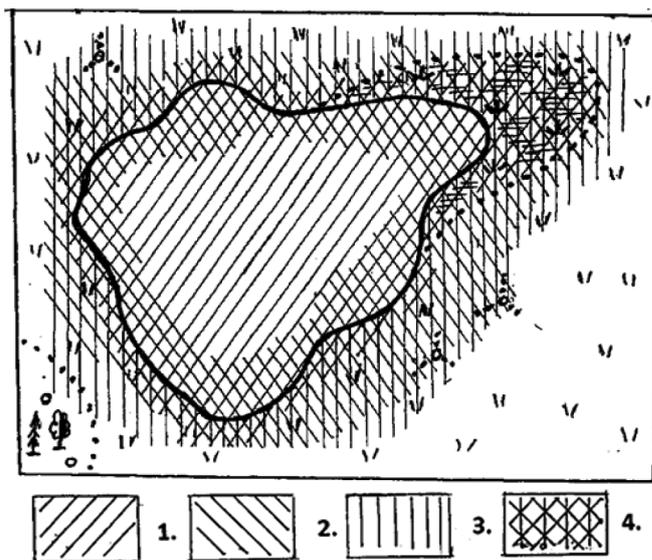


Рис. 1. Летние экологические ниши видов в биогеоценозе

1 — экологическая ниша ондатры; 2 — водяной полевки; 3 — полевки-экономки; 4 — перекрытие экологических ниш (общая ниша)

В августе с минерализацией и высыханием травянистой растительности список кормовых растений полевков сокращается, отдельные части растений или некоторые виды полностью выпадают из рациона грызуна. В это время зверьки часто поедают бесхлорофилльные части и корневища растений, в осенне-зимний период основу рациона экономки составляют отдельные части растений, находящиеся под снегом зелеными [7; 8; 9].

Таблица 1.

Состав кормовых растений *Microtus oeconomus* таежно-аласных экосистем Центральной Якутии (наши данные)

№	Вид	Встречаемость на кормовых столиках*
1.	Крестовник Якова — <i>Senecio Jacobaea</i> L.	++
2.	Кровохлебка аптечная — <i>Sanguisorba officinalis</i> L.	++
3.	Девясил британский — <i>Inula Britannica</i> L.	++
4.	Лисохвост амурский — <i>Alopecurus amurensis</i> Kom.	++
5.	Лисохвост тростниковидный — <i>A. ventricosus</i> Pers.	+++
6.	Бескильница тонкоцветковая — <i>Puccinellia tenuiflora</i> Scribn	+++
7.	Бекманья восточная — <i>Beckmannia syzigachne</i> Fern.	+++
8.	Полевица Триниуса — <i>Agrostis trinii</i> Turcz.	+++
9.	Полевица побегообразующая — <i>A. stolonifera</i> Turcz.	+++
10.	Полевица гигантская — <i>A. gigantean</i> Roth.	++
11.	Полевица якутская — <i>A. jacutica</i> Schishk.	++
12.	Мятлик болотный — <i>Poa palustris</i> L.	+++
13.	Лапчатканизкая — <i>Potentilla supine</i> L.	+++
14.	Лапчатка вильчатая — <i>P. bifurca</i> L.	+++
15.	Лапчатка клейкая — <i>P. viscosa</i> J. Don.	++
16.	Осока вилюйская — <i>Carex wiluica</i> Meinsh.	++
17.	Осока ползучая — <i>C. reptabunda</i> V. Krecz.	+++
18.	Осока прямоколая — <i>C. orthostachus</i> C.F. Mey.	++
19.	Хвощ речной — <i>Equisetum fluviatile</i> L.	+++
20.	Хвощ полевой — <i>E. arvense</i> L.	+++
21.	Горец альпийский — <i>Polygonum undulatum</i> Murr.	+++
22.	Пушица (Пухонос) — <i>Eriophorum polystachion</i> L.	+++
23.	Стрелолист плавающий — <i>Sagittaria natans</i> Pall.	+++

Примечания: \*Встречаемость на кормовых столиках: +++ — часто, ++ — средне, + — редко.

В зависимости от местообитания, ближе к зиме, грызуны делают запасы из корневищ хвощей, кровохлебки и т.д. Зверьки, обитающие в кочкарниках запасов, не делают, питаются круглый год зелеными частями стеблей

и корневищами осок, хвощей и т.п. Находя их под снегом в этих станциях. Благоприятные условия для зимовки *M. oeconomus* находит, и в полигональных понижениях, в зарослях травянистых растений по берегам водоемов, болот и кочкарников (Рис. 2).

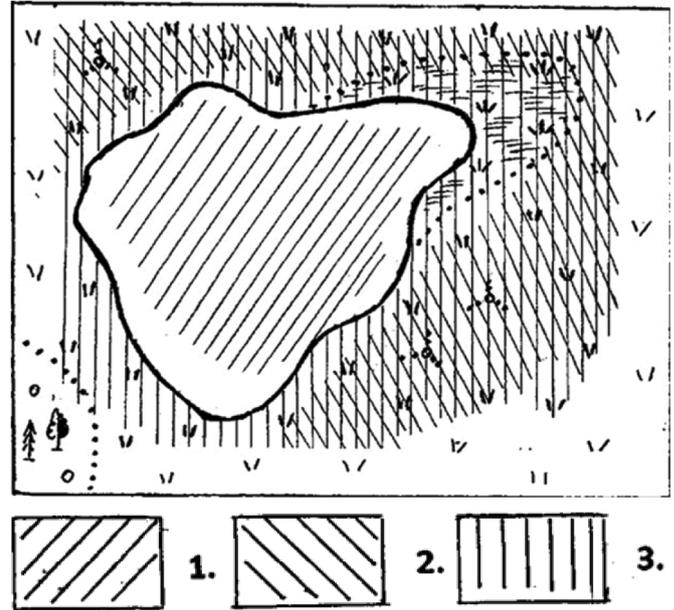


Рис. 2. Зимние местообитания видов  
1 — экологическая ниша ондатры;  
2 — водяной полевки; 3 — полевки-экономки

В этих местах происходит накопление снега, и высота его может достигать до метра и выше. Кроме того, полевки концентрируются в кустарниковых зарослях. В них также накапливается в значительном количестве снег, что обуславливает благополучную зимовку этого вида.

На всех просмотренных в зимний период кормовых столиках (n=24), под снегом, так же обнаруживали погрызенные концевые части веточек различных кустарников. В меньших количествах поедаются семена и т.п.

В долине Средней Лены зимними станциями *M. oeconomus* являются прибрежные полосы озер и стариц с богатым травостоем и осоково-кочкарниковые луга. Такие места обычно и остаются не тронутыми сенокосом из-за их недоступности техникой. Микроклиматические и кормовые условия этих местообитаний наиболее благоприятны для полевок. Так как осенью травостой здесь достигает как большей высоты и густоты, так и при выпадении снега полегает и под ним образуется масса пустот, которые используются зверьками для перемещения и кормежки. Вместе с тем, многочисленные пустоты под снегом в травянистом покрове и в кочкарниках содержат достаточно много кислорода, что позволяет полевок не выходить на поверхность снега зимнее время. Под снегом зверьки передвигаются по пустотам, образовавшимся в кочкарниках, травянистом покрове самостоятельно прокладывают ходы.

В конце апреля, начале мая, до окончательной утайки последнего снега, в зимних местообитаниях экономок, нами были исследованы места около норной подснежной жизнедеятельности ( $n=9$ ), которое хорошо прослеживается, в это время, как отпечатанные рисунки. Нами выявлено, что ходы расходятся веером от зимовального гнезда к местам кормежки, образуя вокруг норы сеть тропинок. Судя по утоптаности, эти ходы используются полевками в течение всей подснежной жизни. Установлено что полевки во время кормежки не уходят дальше 20 метров от ближайшей норы. В случае если места кормежки удалены от жилой норы, то зверьки устраивают подснежные гнезда, где грызуны, по-видимому, могут проживать постоянно, об этом говорят постилки.

Подземная система ходов нор этих полевок относительно проста по устройству, обычно не занимает большой площади и располагается непосредственно под поверхностью почвы. Тем не менее, зимовочные норы этих грызунов иногда могут быть и довольно сложными, раскопанная нами нора в окрестности с. Хатырык, Намского улуса имела 17 входных отверстий, площадь поселения занимала примерно 25 000 см<sup>2</sup>. Ходы проходили в одной плоскости на небольшой глубине 8–25 см, гнезда имели чашеобразную форму как старые, так и новые. Иногда они устраивают гнезда в кочках, под плавником, в гнилой древесине поваленных и сгнивших стволах деревьев [7].

*Arvicola terrestris* L. (1758) — Водяная полевка («кю-утэр», якут.), типичными местообитаниями этого вида на исследуемой территории в естественных ландшафтах таежно-аласных биогеоценозах, долинах и островах среднего течения р. Лена. Являются заболоченные осоково-кочкарниковые луга по низким террасам, болота, озера с густой околородной и собственно-водной растительностью, злаков, осок и хвощей. Грызун в течение теплого времени года, находит защитные, кормовые и микроклиматические условия существования в этих местообитаниях (рис. 1).

Территориальный вид, самцы главным образом контролируют и защищают от вторжения конспецификов на семейную территорию, ресурсы которой обеспечивают потребность животных, необходимую для реализации репродуктивной функции. Занятую семейную пространственную структуру маркируют. Используют для этого экскременты (фекалии и мочу) широко распространенную в животном мире для мечения территории, поскольку они содержат химические вещества, отражающий социальный статус особи [8; 9].

Питается *A. terrestris* сочными частями собственно-водных и околородных растений. Срезанные стебли осок, тростника, стрелолиста и других растений они доставляет к берегу вплавь, и поедают их на кормовых столиках

( $n = 22$ ) небольших утоптаных площадках у уреза воды. Ее кормовой столик похож на столик ондатры, но обычно меньших размеров. Осматривая кормовые столики, можно заметить, что этот грызун, как и *O. zibethica*, объедает лишь нижнюю беловатую часть стеблей, наиболее сочную и нежную. Схожесть по видовому составу собственно-водных и околородных растений в питании между этими видами 75–80 % и более.

Так, в питании полевок обитающих прибрежной полосе озер, ведущее значение в питании имеют более 5–6 собственно — водных (у ондатры 8 видов) и 10 видов злаков и осок, в качестве дополнительного корма используются еще столько же видов травянистых и кустарниковых растений. Наиболее широкий спектр кормов от 30 до 40 видов имеют полевки, обитающие вдоль береговой линии стариц (табл. 2). Это связано с большим разнообразием видового состава растительности в таких типах местообитаний. *A. terrestris* устраивает норы и убежища разного типа: весенние, летние и зимовочные. Весенние и летние норы имеют значение защитных и выводковых, зимовочные — защитные и кормовые. С весны и все лето зверек держится вблизи водоемов, по тихим речным заводям, протокам, старицам и озерам. Летом живет в простых норах, оканчивающихся гнездовой камерой, расположенной в 10–15 см от поверхности земли, прорытые ходы имеют овальную форму. При этом высота ходов больше их ширины. Зверек также поселяется и внутри болотных кочек или в выгнивших стволах деревьев, устраивая внутри них круглые гнезда из сухой травы.

Таблица 2.

Список кормовых растений *Arvicola terrestris* Средней Лены (наши данные)

№	Вид	Встречаемость на кормовых столиках*
1.	Осока изящная — <i>Carex delicate</i> C.B. Clarke.	+++
2.	Осока вилуйская — <i>C.wiluica</i> Meinsh.	+++
3.	Осока носатая — <i>C. rostrata</i> Stokes.	++
4.	Осока пузырчатая — <i>C.vesicaria</i> L.	++
5.	Хвощечной — <i>Equisetum fluviatile</i> L.	+++
6.	Хвощполевой — <i>E. arvense</i> L.	+++
7.	Аир обыкновенный — <i>Acorus calamus</i> L.	+++
8.	Камыш озерный — <i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla.	++
9.	Бекмания восточная — <i>Beckmannia syzigachne</i> Fern.	++
10.	Вахта трехлистная — <i>Menyanthes trifoliata</i> L.	+

№	Вид	Встречаемость на кормовых столиках*
11.	Водяная сосенка — <i>Hippuris vulgaris</i> L.	+
12.	Калужница болотная — <i>Caltha palustris</i> L.	++
13.	Лисохвост вздутый — <i>Alopecurus arundinaceus</i> Poir.	++
14.	Мытник — <i>Pedicularis</i> L.	++
15.	Поручейник — <i>Sium</i> L.	++
16.	Рогоз широколистный — <i>Typha latifolia</i> L.	+++
17.	Тростник обыкновенный — <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ExSteud.	+++
18.	Тростянка овсяницевидная — <i>Scolochloa festucacea</i> (Willd.) Link.	++
19.	Стрелолист плавающий — <i>Sagittaria natans</i> Pall.	+++
20.	Лапчатка гусиная — <i>Potentilla anserina</i> L.	+++
21.	Лапчатка вильчатая — <i>P. bifurca</i> L.	+
22.	Кровохлебка аптечная — <i>Sanguisorba officinalis</i> L.	++
23.	Крестовник Якова — <i>Senecio Jacobaea</i> L.	+
24.	Крестовник болотный — <i>S. paludosus</i> L.	++
25.	Одуванчик — <i>Taraxacum</i> F.H.Wigg.	+
26.	Полевица якутская — <i>Agrostis jacutica</i> Schishk.	+
27.	Подмаренник северный — <i>Galium boreale</i> L.	+
28.	Полынь — <i>Artemisia</i> L.	+
29.	Подорожник большой — <i>Plantago major</i> L.	++
30.	Пырей ползучий — <i>Elytrigia repens</i> (L.) Desv. ex Nevski.	++
31.	Тысячелистник — <i>Achillea</i> L.	+
32.	Герань луговая — <i>Geranium pratense</i> L.	+
33.	Ячмень луговой — <i>Hordeum brevisubulatum</i> (Trin.) Link.	++
34.	Шлемник — <i>Scutellaria</i> L.	+
35.	Береза — <i>Betula</i> L.*	+
36.	Ива — <i>Salix</i> L.*	+

Примечания: \*Встречаемость на кормовых столиках: +++ — часто, ++ — средне, + — редко.

\*Древесные породы.

Существенную роль в динамике численности островных микропопуляций полевков имеют весенние и летние паводки, вынуждающие крыс переселяться на открытые возвышенные участки, в заросли ивняка и завалы плавников. Здесь они находят кормовые и защитные условия. Сезон наводнений в основном совпадает с репродуктивным периодом зверьков, они приспособились устраивать выводковые гнезда в плавниках и стволах деревьев (n=3; на высоте от 1–1,5 м.). То, что полевки хорошо лазают по деревьям, было известно давно и неоднократно, использование ими древесного яруса отмечалось в литературе.

В конце июля начале августа *A. terrestris* переходят на места своих зимовок и начинают рыть зимовочные норы. Зимовочные норы устраивают на возвышенных гривах (по-местному «кырдал» якут.), лугах, иногда под стогами или рулонами сена и обязательно вблизи кустарников.

В этот период питание зелеными вегетативными частями растений постепенно заменяются корнями и корневищами. Зверек прокапывает длинные норы, к местам кормежки под землей, и выследить её очень трудно. При этом на поверхности земли остаются холмики разного размера «кротовины», содержащие стебли, листья трав и т.п. По кротовинам можно определить места жировки грызуна.

Несколько позднее они приступают к заготовке зимних запасов. Зимой и ранней весной питаются главным образом подземными частями травянистых растений, а также корой некоторых кустарников. В течение этих месяцев зеленые корма потребляются в незначительном количестве. Из литературных данных известно, что иногда *A. terrestris* поедает насекомых, моллюсков, маленьких рыбок [1;10; 11; 12].

*Ondatra zibethica* L. (1798) — Ондатра («андаатар», якут.) ведёт полуводный образ жизни, селится по берегам озёр, стариц, проток и болот. Водоёмы Центральной Якутии этот зверек был завезен из ранее расселенных регионов в 1939 г. Всего завезено и выпущено в водоемы республики 282 зверька. С целью ускорения заселения видом всех водоемов, были проведены еще и внутрирайонные отловы и выпуски. Во всех местах выпуска *Ondatra zibethica* хорошо прижилась и стала интенсивно расселяться, занимая все новые водоемы. Как следствие вид при помощи человека заселил всю территорию Якутии.

Здесь *O. zibethica*, как и во всех частях ее ареала, населяет преимущественно озера, но может поселяться и в тихих речных протоках со слабым течением, в курьях и старицах, соединяющихся между собой протоками или в озерах с речной системой.

Для постоянного обитания она использует непромерзающие водоемы с достаточными запасами водной и околородной травянистой растительности и благоприятными условиями для устройства нор, хаток и комбинированных жилищ. Наиболее благоприятными для ее обитания являются водоемы с крутыми обрывистыми и слабо заболоченными берегами, с глубинами, резко нарастающими от берега к середине водоема.

Питается прибрежными и собственно-водными растениями. Весной ондатра кормится молодыми стеблями и листьями, летом и осенью предпочитает сочные прикорневые части стеблей, зимой только облиственными стеблями собственно-водных растений и корневищами.

По открытой воде *O. zibethica* поедает почти все виды собственно-водных и околородных растений. В зависимости от типа водоема и видового состава гидрофильной растительности, даже в озерах, расположенных в одном регионе кормовой рацион зверька бывает различным [13].

Из таблицы 3 видно, что в Центральной Якутии *O. zibethica* поедает 33 вида растений, из них 8 отнесены нами к основным или излюбленным компонентам рациона.

Таблица 3.

Список поедаемых кормовых растений *Ondatra zibethica* Центральной Якутии (наши данные)

№	Название растений	Латинские названия
1.	Осока носатая	<i>Carex rostrata</i> Stokes.
2.	Осока пузыреватая	<i>C. vesicata</i> Meinsh.
3.	Тростянка овсяницевидная	<i>Scolochloa festucaceae</i> (Willd.) Link.
4.	Рдест сплюснутый	<i>Potamogeton compressus</i> L.
5.	Рдест пронзеннолистный	<i>P. perfoliatus</i> L.
6.	Рдест гребенчатый	<i>P. pectinatus</i> L.
7.	Рдест влагалыщный	<i>P. vaginatus</i> Turcz.
8.	Рдест злаковый	<i>P. gramineus</i> L.
9.	Уруть мутовчатая	<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.
10.	Водяные мхи	
11.	Кипрей болотный	<i>Epilobium palustre</i> L.
12.	Хвостник обыкновенный	<i>Hippuris vulgaris</i> L.
13.	Черёда трехраздельная	<i>Bidens tripartite</i> L.
14.	Крестовник Якова	<i>Senecio Jacobaea</i> L.

№	Название растений	Латинские названия
15.	Бекмания восточная	<i>Becmannias yziqachne</i> (Steud.) Fern.
16.	Ежеголовник всплывший	<i>Sparganium emersum</i> Rehm.
17.	Пузырчатка малая	<i>Utricularia minor</i> L.
18.	Ряска маленькая	<i>Lemna minor</i> L.
19.	Ячмень короткоостистый	<i>Hordeum brevisubulatum</i> (Trin.) Linr.
20.	Горец земноводный	<i>Polygonum amphibium</i> (L.) S.F. Gray
21.	Болотник болотный	<i>Callitriche palustris</i> L.
22.	Лютик Гмелина	<i>Ranunculus Gmelinii</i> DC.
23.	Бескильница Гаупта	<i>Puccinellia Hauptiana</i> V.Kzecz
24.	Болотница болотная	<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem.et Schult
25.	Хвощ речной	<i>Equisetum fluviatile</i> L.
26.	Хвощ полевой	<i>E. arvense</i> L.
27.	Лисохвост тростниковидный	<i>Alopecurus arundinaceus</i> Poiz.
28.	Сабельник болотный	<i>Comarum palustre</i> L.
29.	Тростник южный	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.
30.	Аир обыкновенный	<i>Acorus calamus</i> L.
31.	Кувшинка четырехгранная	<i>Nymphaea tetragona</i> Georgi.
32.	Стрелолист плавающий	<i>Sagittaria natans</i> Pall.
33.	Вахта трехлистная	<i>Menyanthes trifoliata</i> L.

В течение года в питании хорошо прослеживается сезонная смена объектов корма в зависимости от гидрологического режима водоемов и их доступности (рис. 1). По результатам анализа остатков пищи на кормовых столиках и погрызам (n = 517), результатам раскопок кормовых камер (n = 19) и визуальным наблюдениям за живущими зверьками. Установлено, что видовой состав поедаемых растений меняется в зависимости от конкретного района исследований и водоема.

В зимнее время зверек живет изолировано подо льдом, питается исключительно собственно-водными растениями и их корневищами, наружу не выходит. Это преимущественно *Potamogeton* (58–75 % встреч), *Phragmites australis* (48–87 %), *Comarum palustre* (19–27 %), *Carex* (17–19 %), *Menyanthes trifoliata* (5–31 %), *Equisetum* (19–31 %), *Nymphaea tetragona* (от 2,4 до 13 %).

По мере промерзания водоема состав поедаемых растений *O. zibethica* зависит от их доступности (рис. 2).

Поэтому зимний рацион состоит из растений, произрастающих в глубоководной части водоема. Преимущество приобретают доступные корневища, корни, почки и клубеньки зимующих в воде собственно-водных растений. Плодоносившие их побеги отмирают, а облиственные, богатые питательными веществами розетки сохраняются на дне и доступны зверьку в течение всего зимнего периода. Преобладание в рационе зверька рдеста в регионе объясняется еще и тем, что процент зарастания водоемов ими достаточно большой, и они начинают вегетировать очень рано, еще до вскрытия озер, а некоторые виды вегетируют круглый год. Одновременно с возрастанием роли рдестов в питании вида снижается доля корневищ собственно-водных и околводных растений (57,0 % до 27,2 %). Это объясняется промерзанием береговой зоны (сплавин и т.п.) и, как следствие, корневища этих растений становятся недоступными для грызуна. Не исключено, что здесь имеет значение и простое преобладание запасов того или иного излюбленного *O. zibethica* кормового вида растений.

Важной особенностью экологии вида, которую он приобрел в специфических условиях существования в Якутии, является строительство большого количества кормовых хаток и «продухов», которыми зверьки пользуются в зимнее время.

В зимне-весенний период, когда растительной пищи мало, частично поедает живые корма — моллюсков, водяных жуков, лягушек и рыбу. Повышение потребности зверьков в животной пище в Якутии является важным приспособлением вида к суровости и длительности подледного периода существования и необходимой предпосылкой для весеннего воспроизводства.

В Центральной Якутии основными гнездовыми сооружениями вида являются норы, комбинированные сооружения и хатки. Количество и размеры кормовых хаток зависят от глубины и промерзания прибрежной части водоема, запасов кормов и состава семьи. В водоемах с обильной кормовой базой и большой глубиной у берега кормовые хатки строятся близко от береговой линии. В мелководных водоемах прибрежная часть промерзает, зверьки вынужденно строят кормовые хатки на значительном расстоянии от береговой линии и количество их увеличивается. Количество кормовых хаток, которые могут поддерживать зверьки, зависит от возможности частого посещения их и предотвращения замерзания лунки в ней. Поэтому семья, состоящая из большого количества особей, имеет возможность устраивать большое количество кормовых хаток (более 10–12), что позволяет им в достаточном объеме использовать кормовые ресурсы подледной акватории водоема.

В связи с особенностями сезонной деятельности многолетнемерзлого грунта и состояния береговой ли-

нии зверьки чаще всего используют норы в летний период. Часть особей в зимнее время переходит на обитание в хатках, так как в ходах нор образуются ледяные пробки из-за намерзания почвенной влаги. Кроме того, причиной перехода зверьков на хатки может быть промерзание береговой части водоема, вынуждающее его строить хатки на льду в относительно глубоководной части водоема.

Характер расположения жилых нор и хаток в водоемах весьма неравномерен и зависит от особенностей береговой линии, изобатов дна, глубины водоёма и запасов прибрежной и собственно — водной растительности. Семьи поселяются обычно на расстоянии 60–150 м друг от друга. В водоемах, с сильно изрезанной береговой линией плотность населения зверьков всегда высокая, чем в водоемах со сглаженной береговой линией.

*O. zibethica* живут семейными колониями, которые обладают своими кормовыми участками. На границе семейных участков по береговой линии водоема устраивают импровизированные туалеты. Паховые железы (перинеальные) самцов выделяют мускусный секрет, которым они метят территорию, к пришлецам не терпимы, очень агрессивный и территориальный вид. Ближе к концу лета, самки прогоняют подросшее потомство первого помета с семейного участка, со вторым перезимовывают совместно.

Грызуны, не имеющие своих семейных участков, весной и осенью совершают дальние миграции в поиске свободных водоемов. Только во время зимовки образуют сборные группы. При перенаселении и нехватке питания, известны случаи каннибализма [13; 14; 15].

Таким образом, в настоящее время в Якутии *O. zibethica* самый массовый в количественном отношении грызун околводных биотопов, который был завезен в республику в целях акклиматизации, и который является чужеродным видом. Последние годы произошли существенные изменения в экологии вида и морфологии водоемов, связанные с роющей деятельностью грызуна.

### Результаты и обсуждения

Акклиматизированная в 40-х годах XX века *O. zibethica* в условиях Якутии не встретила сильных конкурентов и врагов околводных и собственно-водных биотопах, благодаря этому быстро заселила все пригодные для обитания водоемы.

Конкурентами *O. zibethica* в этих биотопах из аборигенной фауны являются *A. terrestris* и *M. oeconomus*, которые успешно сосуществовали между собой долгое историческое время. Однако, *O. zibethica* как грызун с более

активной экологической позицией, территориальный вид, превосходящий своих собратьев в размерах, агрессивности и агонистическим поведением, по-видимому, вытесняет их с исторических мест обитаний.

В настоящее время один из вышеперечисленных грызунов аборигенной фауны, некогда многочисленный вид *A. terrestris*, претерпевает уже несколько десятилетний спад численности. Мы считаем, что это произошло в результате акклиматизации *O. zibethica*, видимо здесь сработал принцип конкурентного исключения закона Г.Ф. Гаузе [16].

В нашем случае, в весенне-летний период, возникает конкуренция в трофических и стациональных отношениях между этими видами (рис. 1). Береговую линию и водную акваторию водоемов в летнее время заселяют аборигенные виды *A. terrestris*, *M. oeconomus* и интродуцент.

*A. terrestris* весной переселяется с мест зимовки на околотоводные биотопы водоемов для сезонной смены стаций по принципу стациальной верности. Здесь зверёк активно поедает околотоводную и собственно водную растительность и строит выводковые норы, поэтому конкуренция биоценологических отношениях, несомненно, существует.

Список кормовых объектов *A. terrestris* включает 36 видов из них околотоводных и собственно-водных растений — 7. У *O. zibethica* в Центрально-якутской низменности нами выявлено 31 вид растений, из них 8 околотоводных и собственно-водных растений излюбленные компоненты рациона. Мы считаем, что между этими видами перекрытие экологических ниш летом можно считать полным (активная конкуренция) — начальная стадия антибиоза.

Между *O. zibethica* и *M. oeconomus* в летний период возникает частичная (пассивная конкуренция) не трофической сфере, а в территориальных отношениях. К осени экономки переселяются на другие экологические ниши.

В зимний период перекрытие экологических ниш между *O. zibethica* и *A. terrestris*, *M. oeconomus* можно исключить т.к. *O. zibethica* зимует изолировано подо льдом, а аборигенные виды со второй половины лета переселяются из околотоводных стаций на возвышенные гряды (по-местному «кырдал» якут.) (рис. 2).

*A. terrestris* и *M. oeconomus* долгое историческое время сосуществуют вместе в этих биотопах, однако конкуренции между аборигенными видами не прослеживается. В их взаимоотношениях выработался — природный нейтраллизм.

## Заключение

По результатам наших исследований выявлены совместные территории экологических ниш, используемые этими грызунами по сезонам года. Таким образом, можно предполагать, что с весны до осени (май-август) биоценологические связи между аборигенными видами и видом интродуцентом усиливаются на околотоводных биотопах. В целом в этот период, несомненно, появляется конкуренция биотических, стациональных и этнологических отношениях между этими видами.

В настоящее время в Центрально-якутской низменности распространение двух видов носит доминирующий характер — *Ondatra zibethica* и *Microtus oeconomus*. Они распространены повсеместно и обитают в большом количестве в долинных и таежно-аласных экосистемах. Третий вид *Arvicola terrestris* в настоящее время претерпевает спад численности, который остается до конца невыясненным. Исходя из этого, можно сделать вывод, что местообитания в рассматриваемом регионе являются благоприятными для двух видов грызунов.

Водную акваторию водоемов в теплое время года помимо *O. zibethica* активно использует *A. terrestris* и частично *M. oeconomus* (Рис. 1). Сезонные перекрытия экологических ниш наблюдаются в летний период, где возникает активная конкуренция трофических и стациональных отношениях у *O. zibethica* и *A. terrestris*. На это указывает то, что в летний период береговая линия водоема становится нишей общего пользования.

Количество поедаемой околотоводной и собственно-водной растительности у *A. terrestris* по объему меньше, чем у *O. zibethica*, но рацион грызунов практически одинаков. Так как видовое разнообразие растений, потребляемых в летний период схож. Схожесть кормовых растений *O. zibethica* с аборигенными видами: *M. oeconomus* — 15 %, *A. terrestris* — 80 % и более. Зимой конкуренции между ними в питании нет. Так как зверьки, начиная с августа, обитают в различных экологических нишах (Рис. 2)

У аборигенных видов *A. terrestris* и *M. oeconomus* свойственно постоянное соседство не зависимо от сезона года. Перекрытие стаций можно считать частичным (пассивная конкуренция).

Причины снижения численности *A. terrestris*, некогда многочисленного вида в республике, окончательно не выяснено и требует более тщательного эколого-биологического изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чибыев В.Ю. К экологии водяной полевки (*Arvicola terrestris* L.) на примере среднего течения р. Лены // Природа внутренней Азии. Nature of Inner Asia. №1 (14) 2020. — С. 112–120.
2. Новиков Г.А. Полевые исследования по экологии наземных позвоночных. М.: Советская наука, 1953. — 502 с.
3. Никитина Н.А. Изучение контактов и подвижности мелких млекопитающих // Методы изучения природных очагов болезней человека. — М: Медицина, 1964. — С. 192–206.
4. Никитина Н.А. О методике изучения индивидуальных участков у грызунов с помощью живоловок // Зоол. журн., 1965. — Т. 44. — Вып. 4. — С. 598–605.
5. Шварц С.С. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных / С.С. Шварц, В.С. Смирнов, Л.Н. Добринский // Тр. ин-та экологии растений и животных. — Свердловск, 1968. Вып. 58. — 387 с.
6. Никифоров Н.И., Чибыев В.Ю. К экологии полевки-экономки (*Microtus oeconomus* Pallas, 1778) в биогеоценозах таежно-аласных экосистем Центральной Якутии // Вестник СВФУ. Т.12, №2. 2015. — С. 19–23.
7. Новгородова Ж.Н., Чибыев В.Ю. Фауна серых полевок (*Microtus*) средней Лены долины Энциэли на примере Хатырыкского наслега Намского улуса // Вестник СВФУ. № 6 (56). 2016. — С. 21–30.
8. Млекопитающие Лено-Алданского междуречья: монография / Мордосов И.И., Прокопьев Н.П. — Якутск: Издательский дом СВФУ, 2013. — 268.
9. Завьялов Е.Л. и др. Территориальная активность самцов Водяной полевки в разных условиях ресурсного обеспечения // Териофауна России и сопредельных территорий. Материалы международного совещания. Москва 2007.
10. Грызуны таежно-аласных экосистем Лено-Амгинского междуречья (систематический обзор, экология, хозяйственное значение): монография / В.Ю. Чибыев. — Якутск: СММК — Мастер. Полиграфия. 2016. — 136 с.
11. Млекопитающие Якутии / В.А. Тавровский, О.В. Егоров и др. М.: Наука, 1971. — 660 с.
12. Соломонов Н.Г. Экология водяной полевки Якутии. Новосибирск: Наука, 1980. — 136 с.
13. Чибыев В.Ю. Экология ондатры Лено-Амгинского междуречья. Дисс. канд. наук. Якутск, 2007. — 147 с.
14. Чибыев В.Ю. Ондатра аласных экосистем Лено-Амгинского междуречья. Якутск: Кн. Изд-во ЯГУ, 2010. — 131 с.
15. Лабутин Ю.В. и др. Ондатра северо-восточной Якутии. Экология и промысел. М., «Наука», 1976. — 187 с.
16. Gause G. F. The Struggle for Existence. Baltimore, 1934.

---

© Чибыев Вадим Юрьевич (Midav\_64@mail.ru); Новгородова Жанна Николаевна (zoomuzei@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РОЛЬ АНТИБИОТИКОВ В СОВРЕМЕННОЙ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ ТЕРАПИИ

## THE ROLE OF ANTIBIOTICS IN MODERN ANTIBACTERIAL THERAPY

**M. Shaidabekova**  
**O. Lobanova**  
**O. Kosenkova**  
**S. Dzhamalova**

*Summary.* The role of antibiotics on the human body has been studied. The human immune system cannot cope with infectious diseases on its own and without external help. Antibiotics are a group of drugs derived from a number of compounds characterized primarily by biological origin, that is, natural. The presented set includes half and fully synthetic derivatives and their analogues, which in low concentrations selectively inhibit and even effectively destroy pathogenic microorganisms in the form of bacteria and some tumor formations of various etiologies. When using antibiotics, the general condition of a person rapidly returns to normal, the treated disease is expected to recede, which is possible due to the suppression of bacteria and the destruction of their cellular structures. Antibiotics can be isolated from various nutrient media and material bases. These are soil, plant residues, animal tissues, silt, river water, atmospheric air and more. Antibiotic resistance is the resistance of bacteria to an antibiotic. Resistant bacteria are phenotypic variants that survive after antibiotic treatment. The antibiotic becomes familiar, familiar to the bacterium and ineffective for treatment. The results of the study showed that taking antibiotics exclusively for the treatment of diseases of bacterial origin, it is important to take a course of antibiotic therapy to the end, in no case should treatment be stopped at the first signs of improvement. The results of the study and analysis of scientific literature in the field of biological research have shown the most effective antimicrobial drugs for the treatment of community-acquired infections.

*Keywords:* antibiotics, resistance, infectious diseases, therapy, producers, immune system, microorganisms.

**Шайдабекова Мехрибан Залидиновна**

кандидат биологических наук, Московский  
финансово-промышленный университет «Синергия»  
fuguo1983@mail.ru

**Лобанова Ольга Васильевна**

кандидат биологических наук, доцент, преподаватель,  
ГБПОУ «Московский государственный  
образовательный комплекс»  
lobanova2016@mail.ru

**Косенкова Ольга Владимировна**

кандидат химических наук, доцент, Московский  
финансово-промышленный университет «Синергия»  
kosenkova.ol@yandex.ru

**Джамалова Светлана Аличубановна**

кандидат химических наук,  
Дагестанский государственный университет;  
Дагестанский государственный университет  
народного хозяйства, физической и органической химии,  
естественно-научных дисциплин, г. Махачкала  
dsveta77@mail.ru

*Аннотация.* Изучена роль антибиотиков на организм человека. Человеческий иммунитет не может самостоятельно и без внешней помощи справиться с инфекционными заболеваниями. Антибиотики — это группа препаратов, получаемых из ряда соединений, характеризующихся преимущественно биологическим происхождением, то есть природным. В представленную совокупность входят наполовину и полностью синтетические производные и их аналоги, которые в малых концентрациях избирательно угнетают и даже эффективно уничтожают патогенные микроорганизмы в виде бактерий и некоторые опухолевые образования различной этиологии. При использовании антибиотиков, общее состояние человека стремительно приходит в норму, лечимая болезнь ожидаемо отступает, что возможно благодаря подавлению бактерий и деструкции их клеточных структур. Антибиотики могут выделяться из различных питательных сред и материальных основ. Это почва, растительные остатки, ткани животных, ил, речная вода, атмосферный воздух и не только. Антибиотикорезистентность — это устойчивость бактерий к антибиотику. Бактерии-резистенты — это фенотипические варианты, которые выживают после лечения антибиотиками. Антибиотик становится знакомым, привычным для бактерии и неэффективным для лечения. Результаты исследования показали, что принимать антибиотики исключительно для лечения заболеваний бактериального происхождения, важно принять курс антибиотикотерапии до конца, ни в коем случае нельзя прекращать лечение при первых признаках улучшения. Результаты изучения и анализа научной литературы в области биологических исследований показали наиболее эффективные антимикробные препараты для терапии внебольничных инфекций.

*Ключевые слова:* антибиотики, резистентность, инфекционные заболевания, терапия, продуценты, иммунная система, микроорганизмы.

Введение

**А**нтибиотики входят в десятку наиболее часто используемых в медицине лекарственных средств во всем мире.

Человеческий иммунитет не может самостоятельно и без внешней помощи справиться с инфекционными заболеваниями из следующего ряда: пневмония, болезни мочеполовой системы, гнойные воспаления кожи, инфекции, передающиеся половым путем, ангина, сифилис, туберкулез и др. Антибиотики не лечат вирусные, грибковые и паразитарные инфекции (краснуха, гепатит, грипп, ОРВИ, кашель, вызванный аллергией или бронхиальной астмой, расстройства кишечника).

С появлением антибиотиков инфекционные заболевания стали излечимыми, что привело к снижению смертности и увеличению продолжительности жизни рис. 1.

Возбудители инфекций и связанных с ними заболеваний, поражающих разные системы организма человека, могут быть распределены по следующим основным группам: простейшие (протисты), бактерии (прокариоты), вирусы, грибки (дрожжи и плесень) и гельминты (животные).

По морфологическим свойствам бактерии классифицируются на основные группы рис. 2.

Еще один критерий классификации представлен подвижностью. Стоит отметить, что многие простейшие и бактерии обладают соответствующей способностью, но это не является характерным для грибков и вирусов. При этом первые для движения используют жгутики,

реснички и другие априорные «инструменты», а вторые — только жгутики [1].

Организм человека заселен (колонизирован) примерно 1000 видами микробов, которые составляют его нормальную микрофлору, в виде сообщества (микробиоценоза) массой около 2 кг, содержащего  $10^{14}$  особей.

Микробы человека находятся в состоянии равновесия (эубиоза) друг с другом и организмом человека. Большая часть их составляют комменсалы, не причиняющие вред человеку. Борьба с микроорганизмами ведется разными путями, одни подавляют их размножение, а другие вызывают гибель бактерии. Эффективны оба механизма, ведущие к выздоровлению человека.

Патогенные микроорганизмы попадают в организм здорового человека через недостаточно обработанную пищу, с мясом диких животных и птиц, через испорченные продукты питания, загрязненную воду, грязные руки, царапины на теле и открытые раны. Главным методом профилактики инфекционных заболеваний следует считать соблюдение личной гигиены, санитарии и условий правильного питания — использование перчаток, защитных масок и очков, при работе с грязными предметами, вовремя залечивать раны, следить за качеством потребляемой пищи и воды. Быть особенно внимательным при близком общении с людьми и контактах с домашними и дикими животными [2].

Антибактериальная химиотерапия избирательно направлена на подавление жизнедеятельности возбудителей инфекционных заболеваний, таких как бактерии, грибы, простейшие, вирусы. Избирательность в данном контексте — это в первую очередь угнетающая и подавляющая активность, направленная против микроско-

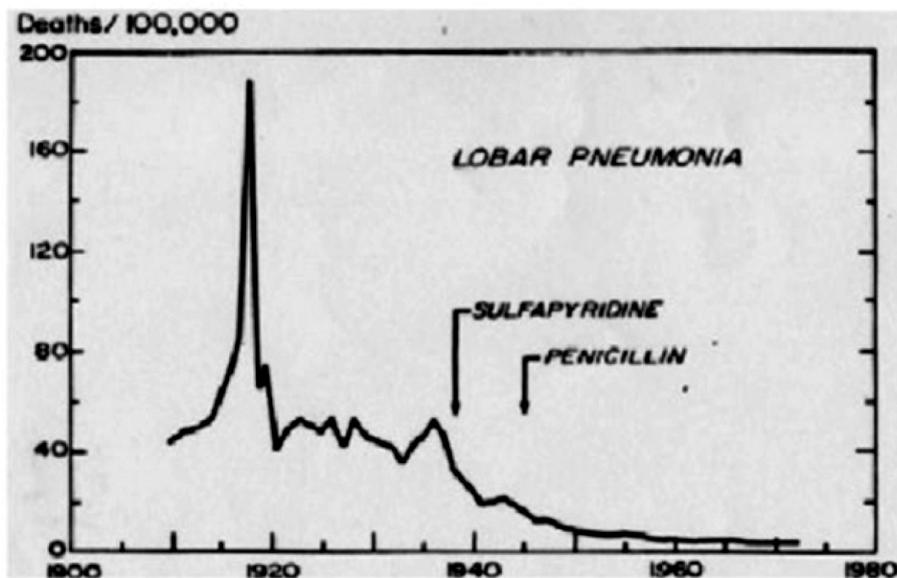


Рис. 1. Антибиотики и их роль в снижении смертности

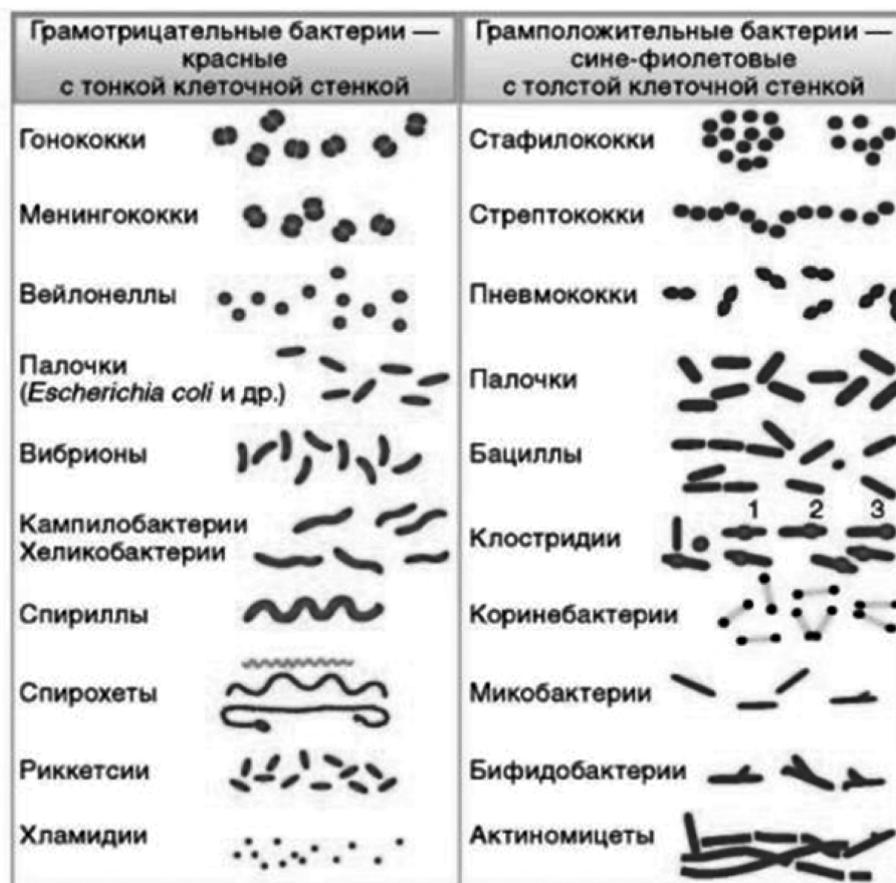


Рис. 2. Классификация возбудителей инфекционных заболеваний

пических организмов. При этом интересна следующая особенность: жизнеспособность клеток носителя-хозяина — сохраняется в полной мере. Негативное действие распространяется только на патогенные микроскопические организмы с инфекционным потенциалом.

Стоит особо отметить, что антибактериальные препараты не являются антисептиками. Последние действуют не избирательно, а обще, при этом уничтожают все потенциальные мишени без разбора и строго вне структур живой системы, то есть организма [3].

Антибиотики используют для предотвращения и лечения воспалительных процессов, вызванных бактериальной микрофлорой, для исследований в области биохимии и молекулярной биологии в качестве ингибиторов процессов клетки, в животноводстве с лечебно-профилактическими целями и снижения смертности, для улучшения роста и развития молодняка (добавляются в корма), в пищевой промышленности (консервирование), для сохранения свежего мяса, молока, рыбы, в растениеводстве для борьбы с болезнями растений.

Антибактериальные препараты широко используются с распространенными послеоперационными осложнениями хирургического лечения заболеваний

различной этиологии — развитие гнойной инфекции, составляющей 15–25 % среди всех инфекций [4].

Целью исследования является изучение и определение механизмов резистентности основных возбудителей инфекций к антимикробным препаратам, выделить наиболее эффективные препараты в отношении основных возбудителей внебольничных инфекций.

#### Задачи исследования

Изучить антибиотикорезистентность основных возбудителей инфекций, определить наиболее активные антимикробные препараты для терапии и предотвращения хронического течения заболевания.

Для эксперимента было опрошено 50 ч. Стало ясно, что жители 17–20 лет и 60 л и выше употребляют антибиотики только по назначению врача. Группа лиц 21–50 л чаще спешит, нет времени болеть, зачастую назначают антибиотики самостоятельно.

Результаты исследования показывают, что антибиотики, благодаря своему действию помогают организму быстро справиться с инфекцией и ускоряют процесс выздоровления, состояние пациента быстро улучшает

ся, болезнь отступает, препараты подавляют активность бактерий, разрушают их клетки.

Лечение болезни без антибиотика может привести к хроническому течению заболевания, к лечению более токсичными антибиотиками и тяжелому восстановлению.

Наши результаты показывают, что простые антибиотические методы убийства эффективны в период фазы роста бактерий рис. 3.

Особо отметим, что процесс бактериального развития сопряжен с выработкой ряда компонентов и с их накоплением. По мере протекания соответствующих реакций увеличиваются размеры, типичные для данного вида. Вместе с тем важно понимать, что развитие микробов сопровождается их ускоренным делением.

Вероятны различные сценарии: поперечный бинарный, перегородочный, когда между частями клеток появляются условные стенки, движущиеся к центральной части конкретной наименьшей клеточной структуры [5].

Истощение питательных веществ и конкуренция с другими микроорганизмами, имеет важное значение для выживания бактериальной популяции. Понимание механизмов, позволяющих какой-то части бактериальной популяции быстро стать мультилекарственно-терпимой, представляет собой важный шаг к искоренению этих сохраняющихся субпопуляций рис. 4.

В контексте поиска результативных антибиотических препаратов одно из перспективных направлений представлено исследованием генома продуцентов. Здесь нужно подчеркнуть следующее: многие антибиотики, имеющиеся на современном рынке лекарственных

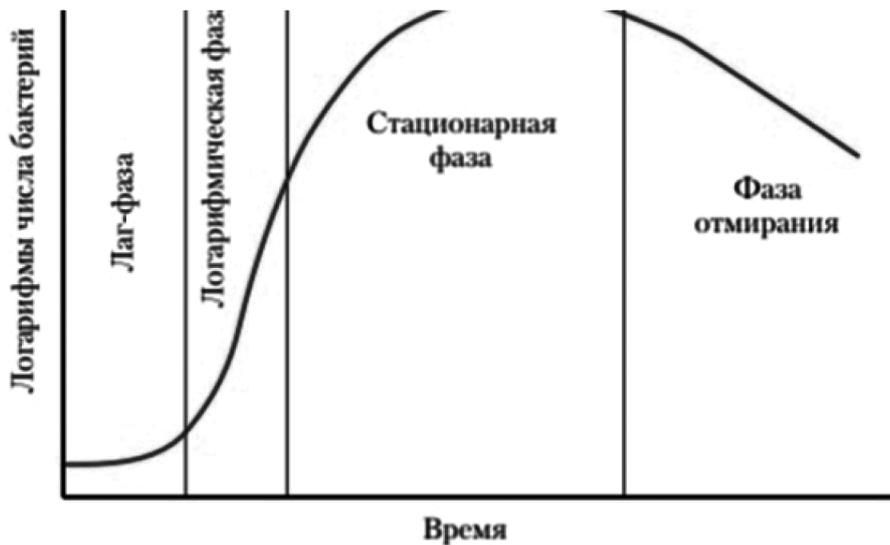


Рис. 3. Фазы размножения бактерий

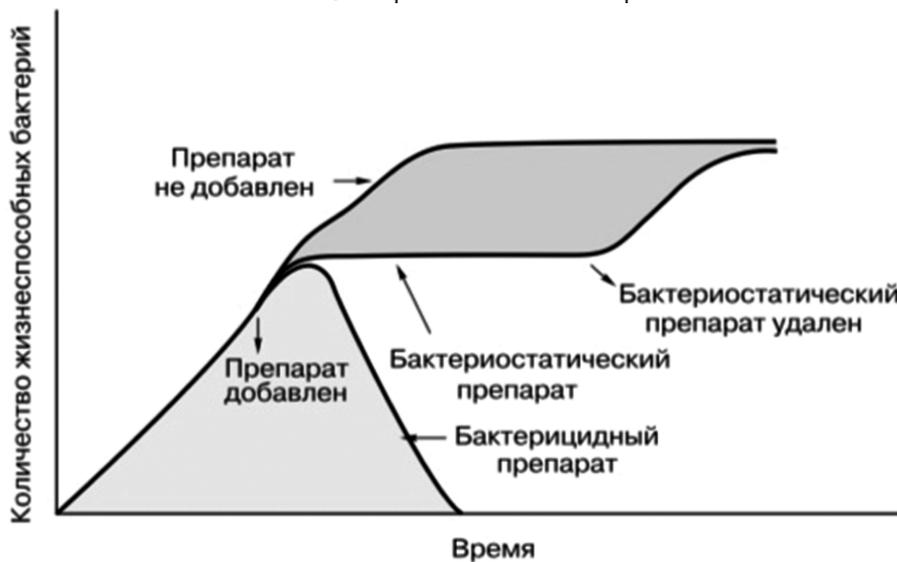


Рис. 4. Бактерицидное и бактериостатическое действие антимикробных препаратов

средств, преимущественно выработаны актиномицетами и являются продуктами их жизнедеятельности. Это не минус и не плюс, но важнее другое: именно такие препараты способны не только противодействовать бактериям, но и в определенной мере уничтожить опухолевые образования различной этиологии [6].

Подчеркнем, что антибиотики при наступлении ряда условий и обстоятельств способны спровоцировать побочные эффекты, что нежелательно. Конкретное негативное проявление зависит от вида и типа антибиотического препарата, а также от его компонентного состава.

Последствиями бесконтрольного применения антибиотиков являются:

1. Дисбактериоз
2. Аллергии
3. Кандидоз
4. Нефротоксическое действие
5. Ототоксическое действие
6. Гематотоксическое действие
7. Раздражение слизистой органов ЖКТ
8. Развитие антибиотикорезистентности

Антибиотикорезистентность — это устойчивость бактерий к антибиотику. Бактерии-резистенты — это фенотипические варианты, которые выживают после лечения антибиотиками. Антибиотик становится знакомым, привычным для бактерии и неэффективным для лечения рис. 5.

Бактериальная стойкость эволюционировала, как мощная стратегия выживания для преодоления неблагоприятных экологических условий. Это свойственно почти всем бактериям, в том числе всем человеческим бактериальным патогенам. Бактериальные клетки используют различные механизмы, такие как устойчивость, стойкость и толерантность, чтобы обеспечить вы-

живание. Стойкость — механизм, с помощью которого бактерии пребывают в состоянии покоя, минуя эффекты лечения. Стойкие бактериальные клетки образуются из нормальной популяции бактерий, как медленно растущее подмножество бактерий. Такое поведение помогает выживать в течение более долгого времени и при более высокой концентрации антибиотиков. Они являются одной из основных причин рецидивов бактериальных инфекций [7].

Большая часть популяции бактериальных клеток будет погибать от конкретных стрессовых факторов, таких как антибиотики, кислородные и азотные радикалы, питательное голодание. Другие, стойкие подгруппы выдержат стрессовую ситуацию и смогут восстановиться после снятия стресса.

В любой из вероятных ситуаций необходимо прохождение полного курса. Прекращать прием антибиотиков после снятия основных симптомов или их смягчения не рекомендуется: незавершенная терапия в данном контексте — распространенная и часто встречающаяся причина развития устойчивости бактериальных структур и систем к соответствующим препаратам.

Теперь стоит особо подчеркнуть связь функционирования иммунитета с образом жизни человека. Надеяться только на лекарства не стоит: необходимо высыпаться, насыщать рацион продуктами с витаминами, минералами и другими ценными веществами, а также регулярно двигаться и стараться исключать малоподвижность и стрессовые ситуации, соответствующие состояниям.

*Топ-10 эффективных антибиотиков широкого спектра действия*

1. Левомецетин
2. Далацин фосфат
3. Азитромицин

Тип бактерии	Клинически значимая лекарственная резистентность
<b>Грамположительные кокки</b>	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Пенициллин, метициллин/оксациллин
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	Пенициллин
<i>Enterococcus faecalis</i>	Пенициллин, аминогликозиды, ванкомицин
<i>Ent. faecium</i>	
<b>Грамотрицательные кокки</b>	
<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	Пенициллин
<b>Грамположительные палочки</b>	
Нет	
<b>Грамотрицательные палочки</b>	
<i>Haemophilus influenzae</i>	Ампициллин
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	β-Лактамы <sup>1</sup> , аминогликозиды
Энтеробактерии <sup>2</sup>	β-Лактамы <sup>1</sup> , аминогликозиды
<b>Микобактерии</b>	
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> <sup>2</sup>	Изониазид, рифампин
<i>M. avium-intracellulare</i>	Изониазид, рифампин и многие другие

Рис. 5. Клинически значимые бактерии, обладающие значительной лекарственной резистентностью

4. Амоксиклав
5. Цефиксим
6. Флемоксин солютаб
7. Сумамед
8. Супракс солютаб
9. Вильпрафен солютаб
10. Зиннат

По составу, химической структуре антибиотики сгруппированы в семейства (классы):

- лактамы (цефалоспорины, пенициллины, карбапенемы, монобактамы);
- гликопептиды;
- аминогликозиды;
- тетрациклины;
- макролиды (и азалиды);
- линкозамиды;
- левомецетин (хлорамфеникол);
- рифамицины;
- полипептиды;
- полиены;
- разные антибиотики (фузидиевая кислота, фузафунжин и др.).

Способы получения антибиотиков:

- биосинтетические (природные), их продуцентами выступают специальные штаммы микроорганизмов.

- полусинтетические, получаемые химическим соединением природного антибиотика точнее «ядра», с различными химическими радикалами.
- синтетические. Основной источник в данном смысле — синтез. Он возможен после предварительного определения структурного аспекта конкретных природных составляющих. Далее предполагается синтетическое воспроизведение, как в случае с рядом препаратов (Левомецетин и др.) рис. 6.

Продуценты могут выделяться из различных питательных сред и материальных основ. Это почва, растительные остатки, ткани животных, ил, речная вода, атмосферный воздух и не только. Но в представленном перечне есть наиболее ценный и продуктивный источник. Это почва, которая насыщена микроскопическими организмами, вырабатывающими антибиотики в результате жизнедеятельности.

### История развития антибиотиков

В течение многих лет человечество пыталось бороться с различными инфекционными заболеваниями.

Первооткрывателем антибиотиков является английский ученый Александр Флеминг, открывший пенициллин, выделяемое плесневыми грибами рода *Penicillium* рис. 7.

А. Флеминг заметил, что стремительно развивающаяся колония пенициллина в полной мере подавила актив-

### Микроорганизмы – продуценты антибиотиков.

- **Актиномицеты – это многоклеточные бактерии.** Актиномицеты не имеют ядра, т.е. актиномицеты – прокариоты, не имеют митохондрий, имеют сложный цикл развития.
- **Актиномицеты продуцируют следующие группы антибиотиков:** (не менее 50 % из всех известных),
- **-канамицин** - *Actinomyces kanamycetus*
- **-неомицин** - *Actinomyces iracie*
- **-окситетрациклин** – *Actinomyces ninesus*
- **-линкомицин** – *Streptomyces linconiensis*
- Природный левомецетин (хлорамфеникол) продуцируется *Streptomyces venezuelae*.
- **Рифамицин** – *Streptomyces mediterranei*, на основе рифамицина получен рифампицин.

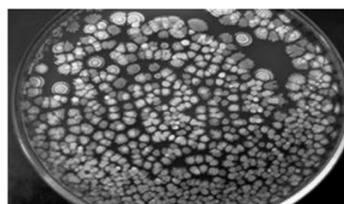


Рис. 6. Микроорганизмы — продуценты антибиотиков



Рис. 7. Открытие пенициллина

ность бактерий, при этом обе группы находились в одной пробирке. Это стало основой предположения, что грибки уничтожили бактериальные скопления при помощи специального вещества, безвредного для них самих. Речь об антибиотике природного происхождения, который впоследствии был назван химическим оружием микромира [8].

### Заключение

Антибиотики являются жизненно важными препаратами, но потенциально способными вызвать побочные эффекты, в связи с чем, применение их необходимо строго контролировать. Результаты исследования показали, что принимать антибиотики исключительно для лечения заболеваний бактериального происхождения, важно принять курс антибиотикотерапии до конца, ни в коем случае нельзя прекращать лечение при первых

признаках улучшения. Результаты изучения и анализа научной литературы в области биологических исследований показали наиболее эффективные антимикробные препараты для терапии внебольничных инфекций. Антибиотики, помогают организму быстро справиться с инфекцией, ускоряют процесс выздоровления, болезнь отступает.

Лечение болезни без антибиотика может привести к хроническому течению заболевания и тяжелому восстановлению.

Рациональная и адекватная антибиотикотерапия важна для скорого выздоровления, снижения смертности и увеличения продолжительности жизни.

Лекарства исправляют многое...

### ЛИТЕРАТУРА

1. Левинсон У. Медицинская микробиология и иммунология — 3-е изд. // Москва: Лаборатория знаний 2021. 1181 с.
2. Гуртовцев А.Л. Человек, бактерии, вирусы. Борьба царств / Разум и наука в борьбе с бактериальными и вирусными эпидемиями и пандемиями. — Минск, Интернет-издание, 2020 — 65 стр. с илл.
3. Козлов С.Н., Козлов Р.С. Современная антимикробная химиотерапия. Руководство для врачей. 3-е издание. Москва: «ООО Медицинское информационное агентство» 2017. 400 с.
4. Черкасов М.Ф., Галашокин К.М., Лукаш А.И., Старцев Я.М., Черкасов Д.М., Помазков А.А., Меликова С.Г., Сорокина В.А., Шолохова В.Р., Волочкова Н.В., Лобачева О.И. Лечение ран различной этиологии с применением вакуум-терапии // Современные проблемы науки и образования. Медицинские науки. 2019. №6 С.136–136. DOI: 10.17513/spno.29337.
5. Зверев В.В., Бойченко М.Н. «Медицинская микробиология, иммунология вирусология. Т-1.» Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2016. 448 с.
6. Зубов П.В., Новикова В.В. Разработка новых антибактериальных препаратов — проблемы и перспективы. // Современные проблемы науки и образования. Медицинские науки. 2015. №5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22672> (дата обращения: 05.07.2024).
7. Wolfgang E., Thomas R., Jurgen H., Werner G. Link Between Antibiotic Persistence and Antibiotic Resistance in Bacterial Pathogens // Front Cell Infect Microbiol. Collection 2022. №12. P.1–26. DOI: 10.3389/fcimb.2022.900848
8. Уразинбетова Д.Э. Вклад нобелевских лауреатов, Вильгельма Рентгена и Александра Флеминга, в развитие медицины. // Международный студенческий научный вестник. Исторические науки. 2020. № 2. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19918> (дата обращения: 05.07.2024).

© Шайдабекова Мехрибан Залидиновна (fuguo1983@mail.ru); Лобанова Ольга Васильевна (lobanova2016@mail.ru); Косенкова Ольга Владимировна (kosenkova.ol@yandex.ru); Джамалова Светлана Аличубановна (dsveta77@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БЕЛКОВ РАЗЛИЧНЫХ ШТАММОВ ПАТОГЕННЫХ БУРКХОЛДЕРИЙ

## MASS-SPECTROMETRIC ANALYSIS OF PROTEINS OF DIFFERENT STRAINS OF PATHOGENIC BURKHOLDERIA

T. Sharov  
E. Korol  
A. Budchenko

**Summary.** The article is devoted to the assessment of differences in the pools of general cellular proteins of the melioidosis pathogen and closely related microorganisms of the genus *Burkholderia*.

**The aim of the work** was to search for potential protein markers specific for the species *Burkholderia pseudomallei*. **Methods.** The objects of the study were the collection strains of *Burkholderia pseudomallei*, *B. mallei*, *B. thailandensis*, *B. cepacia*, as well as individual proteins isolated from electropherograms of these strains. The cell mass of the strains grown on a dense nutrient medium was disinfected, then the protein components were separated by two-dimensional electrophoresis in polyacrylamide gel. The spots of interest were cut out, digested with trypsin, and then identified using the MASCOT search engine. **Results.** About 75 individual proteins were isolated and analyzed. Proteins specific both to all the studied strains of the genus *Burkholderia* and to strains of the «*Burkholderia pseudomallei*» group were determined. It has been shown that the two-dimensional electrophoresis method is not effective enough to detect differences in protein pools both among different species of pathogenic *Burkholderia* and among strains of the same species.

**Keywords:** melioidosis, glanders, mass spectrometry, proteomic analysis, electrophoresis.

**Шаров Тимур Николаевич**

канд. мед. наук, с.н.с. лаборатории  
протеомного анализа ФКУЗ «Волгоградский  
научно-исследовательский противочумный  
институт» Роспотребнадзора  
timursharov@gmail.com

**Король Екатерина Васильевна**

н.с. лаборатории арбовирусных инфекций,  
ФКУЗ «Волгоградский научно-исследовательский  
противочумный институт» Роспотребнадзора  
katherina.korol@mail.ru

**Будченко Анатолий Александрович**

канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории  
арбовирусных инфекций, ФКУЗ «Волгоградский  
научно-исследовательский противочумный  
институт» Роспотребнадзора  
budchenko1976@yandex.ru

**Аннотация.** Статья посвящена оценке разницы в пулах общеклеточных белков возбудителя мелиоидоза и близкородственных микроорганизмов рода *Burkholderia*.

**Целью** работы был поиск потенциально возможных белковых маркеров, специфичных для вида *Burkholderia pseudomallei*. **Методы.** Объектами исследования служили коллекционные штаммы *Burkholderia pseudomallei*, *B. mallei*, *B. thailandensis*, *B. cepacia*, а также отдельные белки, выделенные из электрофореграмм этих штаммов. Клеточную массу штаммов, выращенных на плотной питательной среде, обеззараживали, затем разделяли белковые компоненты методом двумерного электрофореза в полиакриламидном геле. Интересующие пятна вырезали, расщепляли трипсином, затем идентифицировали с помощью поисковой машины MASCOT. **Результаты.** Выделено и проанализировано порядка 75 отдельных белков. Определены белки, специфичные как для всех исследованных штаммов рода *Burkholderia*, так и для штаммов группы «*Burkholderia pseudomallei*». Показано, что метод двумерного электрофореза недостаточно эффективен для выявления разницы в пулах белков как среди различных видов патогенных буркхольдерий, так и среди штаммов одного вида.

**Ключевые слова:** мелиоидоз, сап, масс-спектрометрия, протеомный анализ, электрофорез.

### Введение

**М**елиоидоз — опасное заболевание человека, возбудитель которого, бактерии рода буркхольдерий *Burkholderia pseudomallei*, в настоящее время относят ко второй группе патогенности (опасности) [1]. Представляется достаточно актуальной возможность расширить спектр инструментов, применяемых как в научных исследованиях свойств данных микроорганизмов, так и для совершенствования диагностики вызываемого ими заболевания. Протеомные методы анализа разви-

ваются и эффективно применяются при изучении фенотипических свойств бактерий с целью их ускоренной идентификации. Это приводит к более ранней диагностике вызываемых ими заболеваний путем выявления белков — маркеров микроорганизмов и иммуногенных антигенов, которые позволяют получать высокоспецифичные чувствительные диагностикумы [2]. Harding S.V. et al. применяли протеомные методы исследования для поиска различий в белковом составе у штаммов близкородственных видов *B. pseudomallei* и *B. thailandensis* [3]. На электрофореграммах после разделения двумерным

электрофорезом суммарных клеточных белков и их анализа был обнаружен целый ряд белков, экспрессия которых в клетках *B. pseudomallei* и *B. thailandensis* отличалась. Также в литературе описаны эксперименты по разработке диагностических препаратов с использованием данных изучения двумерных протеинограмм и масс-спектров поверхностных и экстрацеллюлярных белков [4]. Протеомные методы анализа используются для изучения изменения состава секретируемых протеинов *B. pseudomallei* при изменении состава питательной среды [5]. Интерес также представляют результаты изучения белка флагеллина у *B. pseudomallei* и *B. thailandensis*, ранее выделенного с помощью протеомного анализа [6]. При этом авторы, выявив изменения в структуре флагеллина у патогенного вида *B. pseudomallei* в сравнении со структурой этого белка из штамма *B. thailandensis*, попытались найти их связь с различиями в вирулентности. Wongtrakongate P. et al. опубликовали сообщение о выделенных белках штамма *B. pseudomallei* и характеристике их с помощью масс-спектрометрии [7]. Chantratita N. et al., используя методы двумерного электрофореза и MALDI-TOF масс-спектрометрии, удалось обнаружить сложные изменения состава секретируемых протеинов в клетках *B. pseudomallei* при смене морфотипа колоний [8]. Glaros T.G. et al. опубликовали результаты изучения эффективности метода, соединяющего в себе жидкостную хроматографию и масс-спектрометрию, для выявления маркеров болезни обезьян сапом при заражении аэрозольным способом. При этом удалось выявить в сыворотке зараженных животных увеличение в 10–100 раз разновидностей антител к модифицированным белкам, которые появились в результате развития инфекции [9]. Mariappan V. et al. Выявили различия в протеомном составе клеток штамма *B. pseudomallei*, выделенного из почвы в Малайзии и затем пассированного на мышах [10]. Имеющиеся литературные данные свидетельствуют как о значительном потенциале протеомных методов анализа в отношении изучения состава белков, экспрессируемых патогенными буркхольдериями, так и о важности и значимости исследования *B. pseudomallei*. Работа в данном направлении не только представляет собой несомненный интерес для фундаментальной и прикладной науки, но и в перспективе будет способствовать разработке и совершенствованию препаратов для диагностики сапа и мелиоидоза.

#### Материалы и методы

Объектами исследования служили штаммы *B. pseudomallei*, *B. mallei*, *B. thailandensis*, *B. ceracia* из коллекции ФКУЗ «Волгоградский научно-исследовательский противочумный институт» Роспотребнадзора, масс-спектры *B. pseudomallei* (авирулентный штамм 100, вирулентный штамм 107, чувствительный к антибиотикам штамм TtCM), *B. mallei* (вирулентный штамм 10230), *B. thailandensis* (международный штамм 264), *B.*

*ceracia* (штамм 2541), а также отдельные белки, выделенные из двумерных электрофореграмм *B. pseudomallei*, *B. mallei*, *B. thailandensis*, *B. ceracia*. Бактериальную массу выращивали на твердой питательной среде F-агаре в матрасе. На скошенный в матрасе агар наносили суспензию суточной агаровой культуры (109 м.к./мл) в 0,15 М NaCl, проводили инкубацию при 37 °С в течение 18 ч. Вариант изоэлектрофокусирования в стеклянных трубках проводили на аппарате Андерсона [15]. Полученные при изоэлектрофокусировании гели помещали на пластину полиакриламидного геля и проводили электрофоретическое разделение в течение ночи. Двумерные гели окрашивали Кумасси G-250 и нитратом серебра. Фотографии гелей получали с помощью геледокументирующей системы «Gel Doc XR» и программного обеспечения ImageLab. Для дальнейшего анализа применяли инструменты программы «PDQuest». На следующем этапе осуществляли экстракцию отдельных пятен и фракций из двумерных протеинограмм. Выделяли их из геля, проводили трипсинолиз белков и идентификацию с помощью масс-анализатора Axima Confidence. Идентификацию белков проводили через поисковую машину Mascot и базу данных SwissProt.

#### Результаты

В целом на этапе отработки процедуры выделения из двумерных протеинограмм было экстрагировано и проанализировано порядка 70 отдельных белков. Часть из них представляла собой крупные фракции и присутствовала и на электрофореграммах всех исследованных штаммов рода *Pseudomallei* (Таблица 1).

Как видно из таблицы 1, достаточно большая часть общих белков (более 30 %) относится к рибосомальным белкам, как компонентам, так и участникам синтеза белка. Это согласуется с данными литературы, поскольку рибосомальные белки являются одними из наиболее количественно представленных белков (более 10 %) как для эукариот, так и для прокариот [11]. Кроме того, они относятся к консервативным белкам, и именно профиль рибосомальных белков часто используется для масс-спектрометрической идентификации микроорганизмов [12]. Пять идентифицированных белков (15 %) относятся к компонентам мембраны и структурным белкам, также присутствующим в клетке в большом количестве. Оставшиеся белки в основном задействованы в энергетическом цикле, фолдинге белка, нуклеиновых кислот, либо являются неспецифическими компонентами клеточного метаболизма. Данные белки присутствуют во многих прокариотических и эукариотических клетках, поэтому логично их наличие в протеинограммах всех исследованных штаммов рода *Burkholderia* в значительном количестве. Два белка охарактеризованы как гипотетические. В таблице 2 представлены результаты идентификации белков, присутствующих только на протеинограммах

Таблица 1.  
Результаты идентификации основных мажорных белков, выделенных из двумерных гелей «*Burkholderia pseudomallei* 100», «*Burkholderia pseudomallei* 107», «*Burkholderia pseudomallei* TtcM», «*Burkholderia mallei* 10230» «*Burkholderia thailandensis* 264», «*Burkholderia cepacia* 2541»

№	Название	Масса фрагмента в геле, кДа
1	Предположительно транспортер внешней мембраны	84
2	Микробная коллагеназа	83
3	Фактор элонгации 4	76
4	Шаперон «GroEL»	70
5	Гипотетический мембранный белок	69
6	Цитидин-5-прим-трифосфатсинтаза	69
7	Предположительно АМФ-связывающий белок	68
8	Предположительно белок наружной мембраны	60
9	АТФ-аза, компонент секреции 3 типа	59
10	Предположительно порин наружной мембраны	55
11	Многофункциональный ССА-белок	53
12	Хитинсвязывающий белок	52
13	Гипотетический белок	50
14	Метилтрансфераза «RlmN»	48
15	Субъединица АТФ-зависимой протеазы	41
16	dTDP-4-дегидрорамнозная редуктаза	40
17	Ацетальдегид-дегидрогеназа	39
18	Предположительно белок семейства цитохромов	38
19	50S рибосомальный белок L2	33
20	Рибонуклеаза «РН»	31
21	Рибосомальный белок L2	30
22	50S рибосомальный белок L3	29
23	30S рибосомальный белок S4	28
24	Метилтрансфераза E, участвующая в синтезе большой субъединицы рибосомы	28
25	ДНК-связывающий белок	21
26	30S рибосомальный белок S12	19
27	ГТФ-аза, участвующая в созревании малой субъединицы рибосомы	10

исследованных штаммов *Burkholderia pseudomallei* (100, 107, TtcM). Пять белков (ацетилтрансфераза, глутаматкиназа, АТФ-аза, две фосфатазы) имеют гомологию с ферментами клеточного метаболизма, один задействован в процессе созревания РНК. Также можно отметить наличие двух гипотетических белков, одного мембранного и белка — компонента секреторной системы. Шесть белков охарактеризованы как гипотетические.

Таблица 2.  
Результаты идентификации белков, выделенных только из двумерных гелей «*Burkholderia pseudomallei* 100», «*Burkholderia pseudomallei* 107», «*Burkholderia pseudomallei* TtcM»

Вид	Название	Масса фрагмента
<i>B. pseudomallei</i>	Предположительно белок с фосфатазной активностью	56
<i>B. pseudomallei</i>	Аминогликозид-ацетилтрансфераза	23
<i>B. pseudomallei</i>	Глутаматкиназа	43
<i>B. pseudomallei</i>	Предположительно транспортный белок наружной мембраны, осуществляющий перенос катионов	50
<i>B. pseudomallei</i>	АТФ-аза, ассоциированная с протеосомой	80
<i>B. pseudomallei</i>	Предположительно белок, ассоциированный с системой секреции 4 типа	62
<i>B. pseudomallei</i>	Эндорибонуклеаза «YbeY»	24
<i>B. pseudomallei</i>	Гипотетический белок	41
<i>B. pseudomallei</i>	Гипотетический белок	52
<i>B. pseudomallei</i>	Трегалоза-фосфатаза	36
<i>B. pseudomallei</i> 100	Белок, ассоциированный с системой секреции 3 типа	26
<i>B. pseudomallei</i> 100	Гипотетический белок	38
<i>B. pseudomallei</i> 100	Белок, ассоциированный с системой секреции 3 типа	71
<i>B. pseudomallei</i> 100	Белок, содержащий домен «RRP1-C»	42
<i>B. pseudomallei</i> 107	РНК-ассоциированная диметилаллилтрансфераза	30
<i>B. pseudomallei</i> 107	Белок с функцией киназы «UbiB»	64
<i>B. pseudomallei</i> 107	Гипотетический белок	69

Вид	Название	Масса фрагмента
<i>B. pseudomallei</i> TtcM	Тимидилат-киназа	26
<i>B. pseudomallei</i> TtcM	Гипотетический белок	23
<i>B. pseudomallei</i> TtcM	Гипотетический белок	58
<i>B. pseudomallei</i> TtcM	Неохарактеризованный белок-транспортер MFS -типа	50

В случае с белками вирулентного штамма *Burkholderia pseudomallei* 100, а также авирулентного *Burkholderia pseudomallei* 107 уникальные для штамма пятна были обнаружены в небольшом количестве, что обуславливало трудность их выделения. В обоих случаях один из белков был охарактеризован как гипотетический. Один из белков (киназа «UbiB») задействован в энергетическом цикле, и у обоих штаммов обнаружено по одному белку, участвующему в метаболизме нуклеиновых кислот («RPAP1-C»-белок у *Burkholderia pseudomallei* 100 и диметилаллилтрансфераза у *Burkholderia pseudomallei* 107). Помимо этого, у *Burkholderia pseudomallei* 100 присутствуют два белка, ассоциированные с системой секреции 3 типа. Хотя сами белки не секреторные, а являются компонентами мембранного белкового комплекса, тем не менее это согласуется с данными некоторых исследований механизмов патогенности вида *Burkholderia pseudomallei* [14]. Штамм TtcM отличается меньшей резистентностью к антибиотикам в отличие от остальных представителей *Burkholderia* [15]. Как в случае *Burkholderia pseudomallei* 100 и 107, было обнаружено небольшое количество белков. Относительно малые различия в белковом составе между штаммами одного вида также подтверждаются и трудностью внутривидовой дифференциации микроорганизмов с помощью MALDI-TOF масс-спектрометрии, основанной на детекции белков. По данным литературы основная масса штаммоспецифичных молекул — это полисахариды и липиды [16]. Один из белков относится к неспецифическому семейству транспортеров, и ещё один (киназа) задействован в энергетическом цикле клетки. Два белка охарактеризованы как гипотетические, их функции пока неизвестны.

### Обсуждение

Целью исследования являлся поиск возможных белковых маркеров возбудителей сапа, мелиоидоза, а также близкородственных видов буркхолдерий. Как можно видеть из таблиц 1 и 2, в пулах видоспецифичных

белков, наряду с белками с известной функцией, также присутствуют так называемые гипотетические белки (hypothetical proteins). Гипотетическими в данном случае называют белки, чья структура предсказана только по последовательностям нуклеиновых кислот. Т.е. в геноме микроорганизма есть открытая рамка считывания, которая теоретически соответствует идентифицированной аминокислотной последовательности, но экспериментально такой белок не был выделен или описан [18]. Их предполагаемую роль можно определить, исходя из гомологии с известными белками в базах данных. Согласно различным литературным данным протеомы большинства бактерий на 20–40 % состоят из гипотетических белков, не выделенных экспериментально. Кроме того, среди идентифицированных белков 8 % относятся к компонентам систем секреции нескольких типов. Эти системы многокомпонентные и достаточно хорошо изучены как в целом, так и у *Burkholderia spp.* По данным многих исследований, они играют важную роль как в вирулентности, так и в механизмах патогенеза большинства видов буркхолдерий [19, 20].

### Заключение

Как видно из результатов исследования, для микроорганизмов рода *Burkholderia* в целом характерно достаточно большое разнообразие пула внутриклеточных белков, что подтверждается при их исследовании методами электрофореза и масс-спектрометрии. Показано также, что существенная часть специфичных для вида белков относится к гипотетическим, что соотносится с информацией из публикаций результатов схожих исследований. Результаты работы показали эффективность использования протеомного метода для определения и выделения маркерных белков патогенных буркхолдерий. Анализ большего количества штаммов рода *Burkholderia* представляется актуальным продолжением работы, это позволило бы подтвердить или дополнить полученные данные за счёт повторности исследования. Кроме того, показано, что использование электронных карт распределения белков в качестве дополнительного метода дифференциации *Burkholderia pseudomallei* от *B. mallei*, *B. thailandensis*, *B. cepacia*, представляется малоэффективным. Прежде всего за счёт длительности и трудоёмкости получения пригодных для корректного сравнения карт, а также из-за трудности определения того, отражает ли расположение малых белковых фракций различия в протеомах штаммов, или оно обусловлено разницей в условиях получения самого геля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней.
2. Harding S.V., Sarkar-Tyson M., Smither S.J., Atkins T.P., Oyston P.C.F., Brown K.A., Liu Y., Wait R., Titball R.W. The identification of surface proteins of *Burkholderia pseudomallei*. *Vaccine*. 25 (2007): 2664–2672.
3. Wongtrakongate P., Mongkoldhumrongkulb N., Chaijanc S., Kamchonwongpaisanc S., Tungpradabkulb S. Comparative proteomic profiles and the potential markers between *Burkholderia pseudomallei* and *Burkholderia thailandensis*. *Mol. Cel. Probes*. 21 (2007): 81–91.
4. Thompson D., Crandall K., Harding S., Smither S.J., Kitto G., Titball R., Brown K. In silico analysis of potential diagnostic targets from *Burkholderia pseudomallei*. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 2008; 102: S1, S61 S65.
5. Pumirat P., Sinchaikul S.P., Chen S-T., Korbrisate S., Thongboonkerd V. Altered secretome of *Burkholderia pseudomallei* induced by salt stress. *Biochimica et Biophysica Acta*. 2009; 1794: 898–904.
6. Scott A., Twine S., Fulton K., Titball R., Essex-Lopresti A., Atkins T. Prior J.. Flagellar Glycosylation in *Burkholderia pseudomallei* and *Burkholderia thailandensis*/ *J. of Bacteriology*, 2011. 14 V. 193: 3577–3587.
7. Patompon W., Sittiruk R., Sukkid Y., Sumalee T. A Proteome Reference Map of the Causative Agent of Melioidosis *Burkholderia pseudomallei*. *Journal of Biomedicine and Biotechnology Volume 2011, P1-5/Volume 2011, Article ID 530926, 5 pages16*.
8. Narisara C., Sarunporn T., Chanthiwa W., Lily A. Trunck, Drew A. et al. Proteomic analysis of colony morphology variants of *Burkholderia pseudomallei* defines a role for the arginine deiminase system in bacterial survival. *journal of proteomics* 75 (2012) 1031–1042
9. Glaros T., Blancett C., Bell T., Natesan M., Ulrich R. Serum biomarkers of *Burkholderia mallei* infection elucidated by proteomic imaging of skin and lung abscesses. *Clinical Proteomics* (2015) 12:7 DOI 10.1186/s12014-015-9079-4 Page 2 of 14
10. Mariappan V., Vellasamy K.M., Vadivelu J. Host-Adaptation of *Burkholderia pseudomallei* Alters Metabolism and Virulence: a Global Proteome Analysis. Published: *Scientific reports*. August 2017. Vol. 7:21
11. Yutin N., Pere P., Koonin E., Wolf Y. Phylogenomics of Prokaryotic Ribosomal Proteins. *PLoS One*. 2012; 7(5): e36972.
12. Suarez S., Ferroni A., Lotz A., Jolley K., P. Guérin. Ribosomal proteins as biomarkers for bacterial identification by mass spectrometry in the clinical microbiology laboratory. *J Microbiol Methods*. 2013 Sep; 94(3): 390–396
13. Yu Z., John A. Ramshaw. A. et al. Bacterial collagen-like proteins that form triple-helical structures. *J. Struct. Biol*. 2014 Jun; 186(3): 451–461
14. Broek C., Stevens J. Type III Secretion in the Melioidosis Pathogen *Burkholderia pseudomallei*. *Front Cell Infect Microbiol*. 2017; 7: 255.
15. Rhodes K., Schweizer H. Antibiotic Resistance in *Burkholderia* Species. *Drug Resist Updat*. 2016 Sep; 28: 82–90
16. Sandrin T., Goldstein J., Schumaker S. MALDI-TOF MS profiling of bacteria at the strain level: A review. *Mass Spectrom Rev*. 2013 May-Jun;32(3):188-217
17. O'Grady E., Sokol P. et al. *Burkholderia cenocepacia* Differential Gene Expression during Host–Pathogen Interactions and Adaptation to the Host Environment. *Front Cell Infect Microbiol*. 2011; 1: 15
18. Anders J., Petruschke H., Jehmlich N., Haange S., Bergen M. Et al. A workflow to identify novel proteins based on the direct mapping of peptide-spectrum-matches to genomic locations. *BMC Bioinformatics volume 22: 277*
19. Vander C., Stevens J. Type III Secretion in the Melioidosis Pathogen *Burkholderia pseudomallei*. *Front. Cell. Infect. Microbiol.*, 15 June 2017
20. Schwarz S., West E., Boyer F., Chiang W., Carl M. et al. *Burkholderia* Type VI Secretion Systems Have Distinct Roles in Eukaryotic and Bacterial Cell Interactions. *PLoS Pathog*. 2010 Aug 26;6(8):e1001068

© Шаров Тимур Николаевич (timursharov@gmail.com); Король Екатерина Васильевна (katherina.korol@mail.ru);

Будченко Анатолий Александрович (budchenko1976@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОННОГО СЕПАРАТОРА

## MATHEMATICAL MODEL OF CYCLONE SEPARATOR EFFICIENCY

**Addas Safouh  
L. Schwarzburg**

*Summary.* The article is devoted to methods of mathematical modeling of the main output characteristic of a cyclone separator — the efficiency of cleaning the incoming air. In particular, an approach to the construction of differential equations for the dynamics of the concentration difference of solid particles in the input and output flows of a cyclone is considered, based on the joint solution of the equations of mass transfer and dynamics of the cyclone drive motor. Special attention is paid to the efficiency of separation of solid particles for subsequent disposal. The results obtained can be used to build and analyze extreme-type automatic control systems that minimize the concentration of volatile organic compounds and solid particles in production work areas. The introduction of such an approach, in the future, will allow for a transition from air purification quality control to direct control of the microclimate of production areas, which will certainly have a beneficial effect not only on working conditions and safety, but also increase the economic efficiency of production, thus reducing the cost of final products. The use of mathematical models will further provide the possibility of analytical design of air purifiers in general and cyclone separators in particular.

*Keywords:* air purification, cyclone, efficiency, mathematical model, recycling.

**Аддас Сафух**

Аспирант, МГТУ «СТАНКИН»

addassafouh@gmail.com

**Шварцбург Леонид Эфраимович**

д.т.н, проф., ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

lesh@stankin.ru

*Аннотация.* Статья посвящена методам математического моделирования основной выходной характеристики циклонного сепаратора — эффективности очистки поступающего воздуха. В частности, рассматривается подход к построению дифференциальных уравнений динамики перепада концентраций твердых частиц во входных и выходном потоках циклона, основанный на совместном решении уравнений массообмена и динамики приводного электродвигателя циклона. Особое внимание уделяется эффективности разделения твердых частиц с целью последующей утилизации. Полученные результаты могут быть использованы для построения и анализа систем автоматического управления экстремального типа, позволяющих минимизировать концентрацию летучих органических соединений и твердых частиц в рабочих зонах производств. Внедрение подобного подхода, в перспективе, позволит осуществить переход от контроля качества воздухоочистки к непосредственному управлению микроклиматом производственных зон, что безусловно благотворно отразится не только на условиях и безопасности труда, но и повысит экономическую эффективность производств, снижая, таким образом, себестоимость конечной продукции. Применение математических моделей обеспечит в дальнейшем возможность аналитического конструирования воздухоочистителей в целом и циклонных сепараторов в частности.

*Ключевые слова:* воздухоочистка, циклон, эффективность, математическая модель, утилизация.

## Введение

Обеспечение качества воздуха в рабочей зоне промышленных предприятий всех областей народного хозяйства является наиболее актуальной задачей, решаемой, на настоящем этапе развития использованием аппаратов циклонного типа — сепараторов. Основным показателем, характеризующим работу циклонного сепаратора, является эффективность воздухоочистки. Построение действительно высокоэффективных систем воздухоочистки невозможно без наличия адекватных математических моделей, характеризующих распределение концентраций опасных частиц в воздухе. Один из подходов к построению такой математической модели и рассматривается в настоящем исследовании.

## Материалы и методы

При проведении исследования использованы материалы современных публикаций, релевантных теме ис-

следования. К методам исследования относится анализ научных источников, математическое моделирование.

## Литературный обзор

Проблеме оценки эффективности циклонных сепараторов посвящено большое количество исследований последних лет, как в области прикладной аэродинамики, так и в области экологии. Так, исследование [1] изучает природу сил, отсеивающих тяжелые частицы в сепараторе и приводит к выводу о доминирующем влиянии инерционных (кориолисовых) сил на оседание. Также, показано, что плотность и эффективность сепарации возрастают с массой и размерами отсеиваемых частиц. Авторы статьи [2] показывают повышение экономической эффективности за счет утилизации и повторного использования сепарированных частиц. При этом ставится проблема не только очистки воздуха но и разделения частиц по массе и размеру в бункере сепаратора.

В статье [3] предлагается конструкция циклонного сепаратора, позволяющая за счет высоких значений центробежной силы улавливать частицы диаметром до 10 мкм, что, на настоящий момент является одной из основных проблем при очистке воздуха. Также, существует описанное в [4] усовершенствование проточной части десендера, решающего аналогичную задачу, но имеющую более узкое применение — при нефтепереработке.

Статья [5] посвящена влиянию угла раскрытия V-образного циклонного сепаратора на качество отделения мелкодисперсных частиц и показано, что наибольшая эффективность достигается при минимальных значениях угла.

Подходу к моделированию циклонного сепаратора посвящена статья [6], в которой предложена модель турбулентности напряжений Рейнольдса, численно моделируемая методом конечных элементов и позволяющая формировать оценки абсолютного КПД и эффективности сепарации. Недостатком данной модели является ее высокая алгоритмическая сложность при оценке макроскопических параметров.

Статья [7] посвящена подходам к разработке циклонных сепараторов с повышенной эффективностью при улавливании частиц диаметром 10–20 мкм. Показаны ограничения подобного типа решений, связанные с узкоспециализированностью и сделан вывод о применении каскадного включения различных типов сепараторов.

Также, влияние диаметра частиц и положения впрыска на эффективность сепарации показано в исследовании [8]. Авторы также делают вывод о необходимости каскадирования специализированных циклонов.

Несколько иную с практической точки зрения, но необходимую на этапе теоретических исследований задачу — сепарацию аэрозолей (жидких взвесей в воздушном потоке) рассматриваются в исследовании [9]. Авторами получены математические модели, с рядом ограничений пригодные и для рассматриваемого в настоящем исследовании сепаратора.

Исследование [10] посвящено оптимизации параметров сепараторов на основе предложенной авторами модели линейного программирования, что может быть полезно в дальнейших исследованиях.

**Результаты**

Исследуемый циклонный сепаратор имеет три входа для улавливания частиц различного диаметра, общий бункер и выходной поток. Так как воздушные потоки

на входе протекают в ламинарном режиме, то к каждому из входов в первом приближении может быть применен принцип суперпозиции — потоки различных входов не оказывают перекрестных влияний друг на друга. В связи с этим можем использовать приведенные в [10] соотношения взаимосвязи параметров циклона (1)–(2).

$$\eta \sim \frac{D_1}{D} \cdot V \cdot e^{-\left(\frac{d}{D}\right)^2}, \tag{1}$$

$$V \sim D_1^{\frac{3}{2}}, \tag{2}$$

- где  $\eta$  — эффективность сепарации;
- $V$  — скорость воздушного потока на входе циклона, м/с;
- $D_1$  — диаметр входа циклона, м;
- $D$  — диаметр циклона, м;
- $d$  — диаметр сепарируемых частиц, м.

Используя полученные соотношения, можем получить статические характеристики зависимости эффективности сепарации от скорости воздушного потока, для циклона диаметром 0,5 м при фильтрации частиц диаметром 25 мкм, показанные на рис. 1.

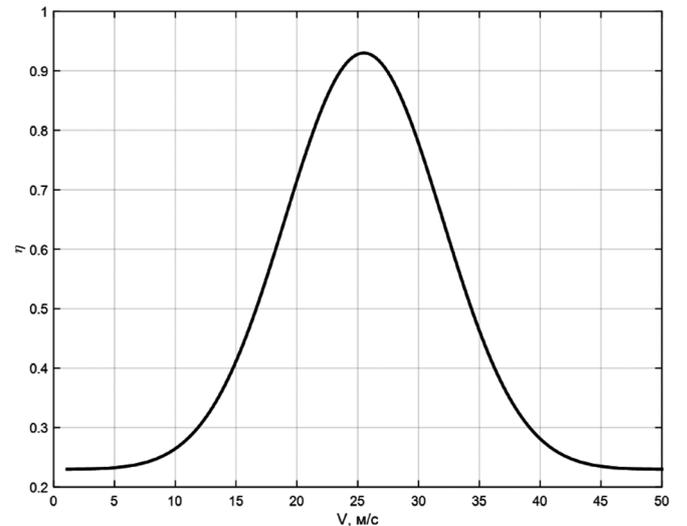


Рис. 1. Статическая характеристика эффективности циклона

Из рис. 1 может быть зафиксирован максимум эффективности, составляющий 93 % при скорости воздушного потока 25,1 м/с. При этом отклонение от оптимального значения ведет к резкому спаду эффективности. Данная проблема может быть решена путем стабилизирующего управления воздушным потоком. Так, скорость воздушного потока связана с частотой вращения приводного двигателя соотношением (3):

$$V \sim \omega^{\frac{2}{3}} \tag{3}$$

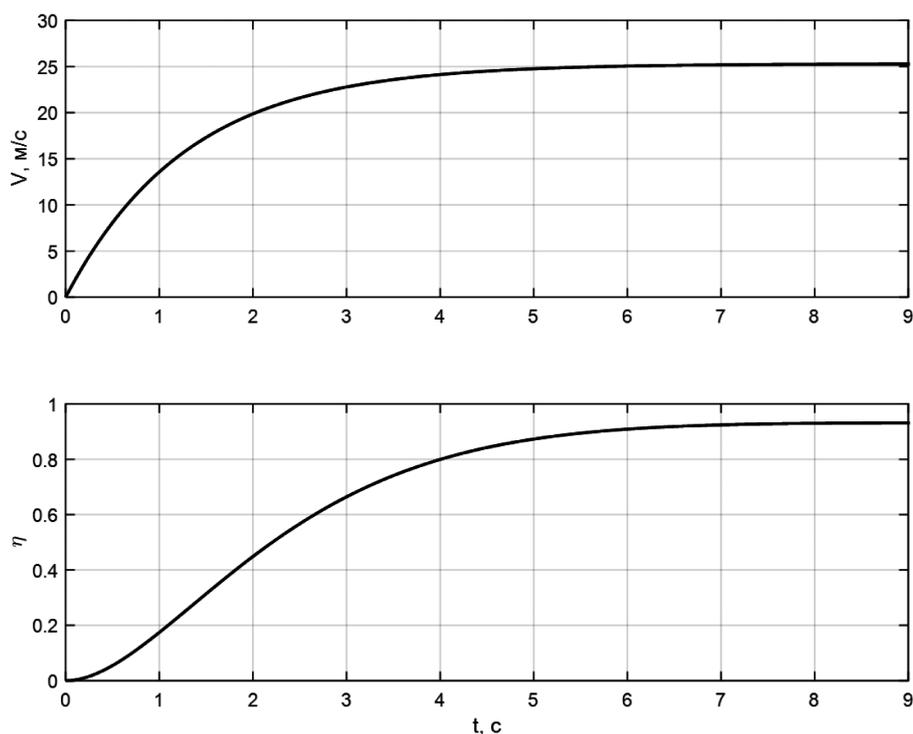


Рис. 2. Динамические характеристики скорости воздушного потока и эффективности циклона

Дополнив статические характеристики уравнением динамики приводного двигателя:

$$\frac{L}{R} \cdot \frac{d\omega}{dt} + k_m \cdot \omega = U, \quad (4)$$

где  $L$  — индуктивность обмотки якоря;  
 $R$  — сопротивление обмотки якоря;  
 $k_m$  — конструктивный коэффициент двигателя.

Можем получить динамические характеристики скорости воздушного потока и производительности при включении циклона (рис. 2).

### Обсуждение

Из рисунка 2 можем сделать вывод о возможности описания воздушного потока дифференциальным уравнением первого порядка, а эффективность — уравнением второго порядка ввиду наличия нелинейной связи со скоростью воздушного потока. Ввиду монотонности динамических характеристик можно сделать вывод о воз-

можности поддержания оптимального режима фильтрации циклонного сепаратора за счет регулирования частоты вращения приводного двигателя циклона. Для управления могут быть использованы как классические, так и более современные законы управления несущественно нелинейными объектами. Также, ввиду наличия максимума статических характеристик (рис. 1), возможно получение оптимального по эффективности управления.

### Заключение

Рассмотренная в ходе настоящей математическая модель эффективности циклона с регулируемой скоростью воздушного потока может быть использована в составе замкнутой системы вентиляции, сбора твердых взвесей и их утилизации путем, например, повторной или дальнейшей переработки. Перспективным направлением дальнейших исследований видится исследование оптимальных алгоритмов управления замкнутыми системами воздухоочистки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вьюгова, К.Д. Определение эффективности и гидравлического сопротивления циклонного сепаратора ЦН — 11 / К.Д. Вьюгова // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика: Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 2. — Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. — С. 333–336.
2. Техничко-экономическое обоснование применения мультивихревого классификатора-сепаратора / В.Э. Зинуров, А.Р. Галимова, И.Г. Ахметова, И.Н. Мадышев // Вестник Самарского государственного экономического университета. — 2022. — № 7(213). — С. 33–44.
3. Зинуров, В.Э. Улавливание мелкодисперсных частиц пыли из газовых потоков на компрессорных станциях / В.Э. Зинуров, А.Ф. Зиангиров // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции молодых ученых, Альметьевск, 13 ноября 2020 года. — Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2020. — С. 398–401.

4. Совершенствование проточной части десендеров циклонного типа с использованием мультифазного коэффициента относительной скорости движения дискретных частиц / А.В. Трулев, С.Ф. Тимушев, А.В. Ломакин, А.В. Клипов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2023. — № 7(760). — С. 93–106.
5. Абдуллина, А.А. Влияние угла раскрытия V-образных сепарационных элементов на эффективность пылеуловителя при очистке воздуха от пищевой пыли / А.А. Абдуллина, В.Э. Зинуров, Л.Т. Воронина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2024. — № 200. — С. 302–309.
6. Попкова, О. С. Численное моделирование циклонного сепаратора / О.С. Попкова, Н.И. Баязитова // Тенденции развития науки и образования. — 2021. — № 74-4. — С. 79–82.
7. Галиченко, Д.А. Улавливание мелкодисперсных твердых частиц из газовых потоков в сепарационном устройстве / Д.А. Галиченко // Актуальные проблемы недропользования: тезисы докладов XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 15–21 мая 2022 года. Том 3. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2022. — С. 244–245.
8. Прокофьева, И.Ю. Влияние диаметра частиц и положения впрыска на эффективность разделения циклонных сепараторов / И.Ю. Прокофьева // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: Сборник статей по материалам ССХV международной научно-практической конференции, Москва, 07 июня 2021 года. Том 20 (215). — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Интернаука», 2021. — С. 606–608.
9. Комбинированный сепаратор для подогрева, охлаждения воздуха и удаления влаги на всасе КВОУ / О.О. Мильман, В.Б. Перов, А.В. Птахин [и др.] // Материалы Восьмой Российской национальной конференции по теплообмену : Материалы конференции. В 2-х томах, Москва, 17–22 октября 2022 года. Том 2. — Москва: Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2022. — С. 79–80.
10. Терехова, О.Н. Пневмоцентробежная классификация мелкодисперсных частиц в мукомольном производстве / О.Н. Терехова, Я.С. Дуюнова // Академическая наука на службе обществу и государству: Сборник статей II Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 02 ноября 2022 года. — Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2022. — С. 35–44.

---

© Аддас Сафух (addassafouh@gmail.com); Шварцбург Леонид Эфраимович (lesh@stankin.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПОСРЕДСТВОМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF AIR PURIFICATION IN THE WORK AREA THROUGH AUTOMATIC CONTROL

**Addas Safouh  
L. Schwarzburg**

*Summary.* The article is devoted to the study of approaches to assessing and improving the efficiency of air purification, considering both theoretical and empirical relationships underlying the methodological apparatus. The object of the article's research is the most common industrial air purification unit — a three-way cyclone. The main point of the article to be discussed is the prospects of using a cyclone with an automatically adjustable inlet pipe diameter in comparison with existing manual control methods. The indicators of system performance, cleaning efficiency and energy consumption are considered as a function to be optimized, which, in the future, can become the basis for designing a new type of automated cyclones. To build a model for the study, an apparatus for numerical integration of differential equations and analysis of macroscopic indicators — the degree of purification and the electrical power consumed during operation — was used. As a result of the study, conclusions were drawn about the possibility of developing and using automatically regulated cyclones both in individual work areas of enterprises and as part of closed-circuit automatic ventilation and air conditioning systems. The results obtained allow us to judge the possibility of using automatically regulated cyclones not only for air purification, but also for recycling by reusing the suspended production waste collected from the air, such as metal shavings and dust.

*Keywords:* air purification, cyclone, diaphragm, actuator, regulation, disposal.

### Введение

Качество воздуха в рабочей зоне промышленных предприятий всех областей народного хозяйства — от тяжелой и перерабатывающей, до легкой и пищевой промышленности. В условиях современного производства возникает необходимость создания замкнутых систем вентиляции, очистки и кондиционирования воздуха, содержащих аппараты циклонного типа для улавливания и дальнейшей утилизации твердых взвешенных примесей. Один из подходов к автоматизации подобных систем лежит в основе настоящего исследования.

### Материалы и методы

При проведении исследования использованы материалы современных публикаций, релевантных теме ис-

**Аддас Сафух**

Аспирант, МГТУ «СТАНКИН»

addassafouh@gmail.com

**Шварцбург Леонид Эфраимович**

д.т.н, проф., ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

lesh@stankin.ru

*Аннотация.* Статья посвящена исследованию подходов к оценке и повышению эффективности воздухоочистки, рассматривая как теоретические, так и эмпирические соотношения, лежащие в основе методологического аппарата. Объектом исследования статьи является наиболее распространенный в промышленности воздухоочистительный агрегат — трехходовый циклон. Основным положением статьи, выносимым на обсуждение, являются перспективы применения циклона с автоматически регулируемым диаметром входной трубы в сравнении с существующими методами ручного управления. Рассматриваются показатели быстродействия системы, эффективности очистки и энергопотребления, как подлежащей оптимизации функции, которая, в перспективе, может стать основой для проектирования нового типа автоматизированных циклонов. Для построения модели для исследования применен аппарат численного интегрирования дифференциальных уравнений и анализа макроскопических показателей — степени очистки и потребляемой в процессе функционирования электрической мощности. В результате исследования получены выводы о возможности разработки и применения автоматически регулируемых циклонов как в отдельных рабочих зонах предприятий, так и в составе замкнутых автоматических систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Полученные результаты позволяют судить о возможности применения автоматически регулируемых циклонов не только для воздухоочистки, но и утилизации путем повторного использования собранной из воздуха взвеси отходов производства, таких как металлическая стружка и пыль.

*Ключевые слова:* воздухоочистка, циклон, диафрагма, исполнительный механизм, регулирование, утилизация.

следования. К методам исследования относится анализ научных источников, математическое и имитационное моделирование.

### Литературный обзор

Анализу проблемных направлений очистки окружающего воздуха в рабочих зонах промышленных производств посвящается значительное количество публикаций в области эргономики, как науки о комфорте человека в частности, и экологии, как науки о сохранности окружающей среды в целом. Исследования не прекращаются и в последние годы. Рассмотрим основополагающие источники, релевантные теме исследования настоящей статьи. Так, исследование [1], посвященное анализу концентраций твердых примесей и летучих

органических соединений, показывает, что, несмотря на нормальные средние концентрации примесей в рабочих зонах предприятий химической промышленности, при ремонтных и обслуживающих работах количество наиболее опасных твердых взвешенных частиц возрастает в 3,1–5,8 раз, что актуализует задачу очистки воздуха. Исследование [2] приводит аналогичные результаты для производств, использующих сварочные процессы, дополняя при этом предыдущие выводы распределением частот встречаемости растворимых и нерастворимых в сварочном аэрозоле твердых примесей. Показанные частоты актуализируют необходимость интенсивной фильтрации и очистки окружающего воздуха. Аналогичные результаты для производства железобетонных изделий приводятся и в статье [3], предлагая, в отличие от предыдущих исследователей математическую модель связи распределения концентраций твердых примесей с текущими параметрами производственного процесса, что задает предпосылки для улучшения эргономики и экологической безопасности производства активным методом — оптимизацией производственного цикла. В совокупности, рассмотренные выше исследования приводят к ключевому выводу — применение систем активной воздухоочистки на настоящем этапе развития науки является неизбежностью и требует проведения ряда исследований в области анализа и улучшения.

В условиях производственных процессов, сопровождающихся выбросом твердых органических примесей, одним из немногих способов очистки является применение циклонов — аппаратов для сепарации проходящего воздуха от твердых примесей. Ряд исследований последнего времени уделяет значительное внимание математическому моделированию данного типа устройств. Так, исследование [4] применяет методы компьютерного моделирования для определения конструктивных параметров двухступенчатых циклонов и содержит эмпирические выводы о связи средней эффективности сепарации с градиентом давлений на входе и выходе аппарата и плотностью среды. Выводы, содержащиеся в статье [5], позволяют сформировать математическую модель прямооточного циклона и каскадного соединения однотипных аппаратов, позволяя сформулировать наличие оптимального количества циклонов в каскаде, имеющего максимальную эффективность сепарации. Исследование [6] показывает, что с ростом входного потока воздуха в циклон возрастает и эффективность сепарации. На данном этапе обзора существующих исследований может быть сделан вывод о возможности управления эффективностью сепарации воздуха аппаратами циклонного типа путем изменения скорости воздушного потока и разности давлений на входе и выходе циклона, что приводит к предположению о возможности оптимизации процесса очистки путем автоматизации.

Управление параметрами воздушного потока в горной промышленности, рассматриваемое в статье [7],

приводят к выводу о многосвязности параметров — скорости, давления и температуры, что необходимо учитывать при проектировании исполнительных механизмов — сужающих устройств. Статья [8] предполагает использование для управления воздушным потоком пневматических устройств, использующих изменение параметров воздушного потока при взаимодействии с управляющими ламинарными и турбулентными течениями управляющих потоков. При этом, исследователь отмечает, что данный метод затруднен к применению в случае необходимости электрического управления и предлагает подход к управлению скоростью воздушного потока путем изменения условного прохода трубопровода с использованием устройств, подобных камерным диафрагмам.

### Результаты

Для управления воздушным потоком на входе прямооточного циклона была предложена регулируемая заслонка, построенная на основе диафрагмы с переменным условным проходом, и управляемая электродвигателем с постоянными магнитами (рис. 1).

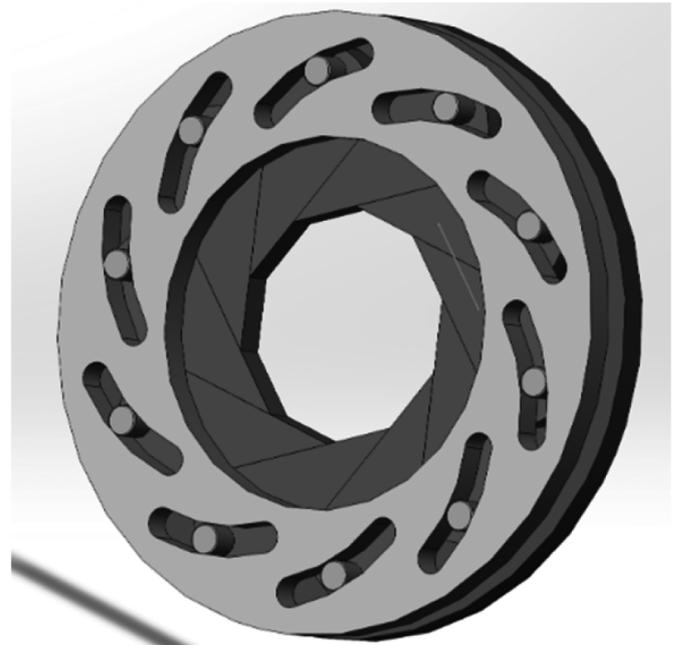


Рис. 1. Внешний вид конструкции регулирующего устройства

Предлагаемая конструкция обеспечивает сохранение в установившемся режиме ламинарного воздушного потока, что, согласно приведенным в исследовании [9] положениям, позволяет описать взаимосвязь параметров циклона с использованием соотношений (1)–(2).

$$\eta \sim \frac{D_1}{D} \cdot V \cdot e^{-\left(\frac{d}{D}\right)^2}, \quad (1)$$

$$V \sim D_1^{\frac{3}{2}}, \quad (2)$$

где  $D_1$  — диаметр входа циклона, м (величина, управляемая с помощью диафрагмы рис. 1);

$D$  — диаметр циклона, м;

$d$  — диаметр сепарируемых частиц, м.

В результате проведенного моделирования прямого циклона, получены зависимости эффективности и скорости воздушного потока от диаметра входного патрубка, показанные на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

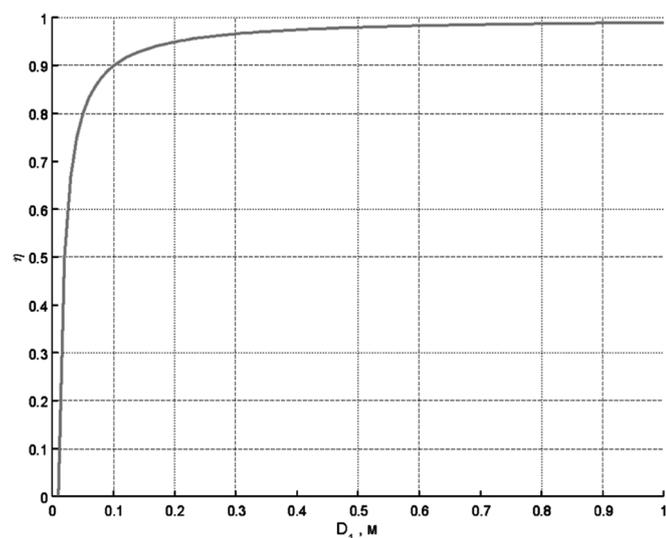


Рис. 2. Эффективность сепарации в функции диаметра входа циклона

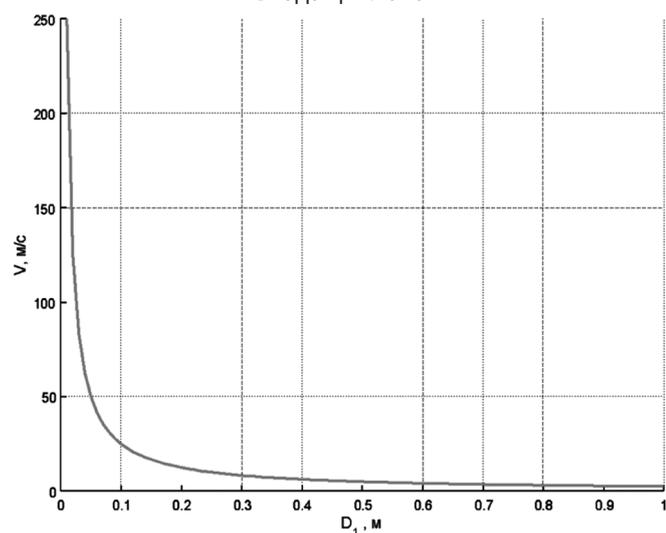


Рис. 3. Скорость воздушного потока в функции диаметра входа циклона

Исходя из рисунка 2, необходимо отметить экспоненциальный рост эффективности фильтрации в связи с ростом фильтруемого в единицу времени циклона.

Поскольку скорость воздушного потока снижается с ростом диаметра входа и, как следствие, снижается производительность циклона.

### Обсуждение

Полученные в результате исследования характеристики, ввиду противоположного характера монотонности зависимостей  $\eta(D_1)$  и  $V(D_1)$  приводят к выводу наличия оптимального соотношения эффективности сепарации и производительности циклона, связанной, как показано в [10], с потребляемой мощностью и энергоэффективности циклона. Необходимо учитывать, что влияние диаметра сепарируемых частиц на эффективность сепарации, ввиду влияния на аэродинамическое сопротивление воздушного потока, требует применение более сложных (например каскадных или многоходовых) циклонов, в связи с чем возникает необходимость рассмотрения статических и динамических характеристик циклонов и формирования математической модели аппарата, как объекта управления. Выходными параметрами такой модели могут быть, помимо описываемых в настоящей статье, также масса собираемых твердых взвесей и производительность циклона.

### Заключение

Рассмотренная в ходе настоящей статьи модель циклона с регулируемым диаметром входа может быть использована в составе замкнутой системы вентиляции, сбора твердых взвесей и их утилизации путем, например, повторной или дальнейшей переработки. Перспективным направлением дальнейших исследований видится исследование динамических характеристик предложенного исполнительного механизма и системы очистки в целом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ гигиенической ситуации на производстве и контроль уровней загрязнения воздушной среды предприятий химического комплекса / Н.А. Бейгул, Л.К. Каримова, Н.А. Мулдашева [и др.] // Тенденции развития науки и образования. — 2024. — № 107-6. — С. 85–89.
2. Гигиеническая характеристика загрязнения воздуха рабочей зоны сварочного производства в судостроении (на примере верфей Санкт-Петербурга) / М.В. Чашин, А.И. Атабеков, Е.А. Кайк [и др.] // Журнал медико-биологических исследований. — 2023. — Т. 11, № 4. — С. 451–461.
3. Оценка запыленности воздуха при производстве железобетонных изделий / В.А. Дмитриенко, В.И. Голик, С.А. Масленников, В.В. Пушкина // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 69–74.

4. Пшенов, Е.А. Обоснование конструктивных параметров вихревой воронки двухступенчатого циклона с применением компьютерного моделирования / Е.А. Пшенов, С.С. Блескин // *Инновации и продовольственная безопасность*. — 2024. — № 1(43). — С. 175–184.
5. Васильев, П.С. Модернизация систем улавливания и аспирации производства пылящего технического углерода / П.С. Васильев, Е.Г. Баклаушева // *Химическая безопасность*. — 2020. — Т. 4, № 2. — С. 212–225.
6. Зинуров, В.Э. Повышение эффективности аспирационных систем при обработке крахмалистого сырья / В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев, Р.Р. Мубаракшина // *Ползуновский вестник*. — 2020. — № 2. — С. 18–22.
7. Экспериментальные исследования проветривания тупиковой выработки нагнетательным способом при различном отставании вентиляционного трубопровода от груди забоя / А.А. Каменских, Г.З. Файнбург, М.А. Семин, А.В. Таций // *Горные науки и технологии*. — 2024. — Т. 9, № 1. — С. 41–52.
8. Мурзинов, В.Л. Методы пневмоники в управлении струйными потоками в системах транспортирования на воздушной подушке / В.Л. Мурзинов // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. — 2011. — № 74. — С. 25–34.
9. Белостоцкий, А.М. Обзорно-аналитическое исследование публикаций в области численных методов и алгоритмов решения задач аэродинамики / А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, И.Н. Афанасьева // *Вопросы прикладной математики и вычислительной механики: Сборник трудов № 20*. — Москва: Издательство АСВ, 2017. — С. 196–205.
10. Замалиева, А.Т. Исследование нового высокоэффективного циклона-фильтра для очистки от мелкодисперсной пыли класса PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> / А.Т. Замалиева // *Фундаментальные и прикладные разработки естественных и гуманитарных наук: современные концепции, последние тенденции развития : Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции: в 4-х частях, Ростов-на-Дону, 24 сентября 2018 года. Том Часть 1*. — Ростов-на-Дону: Южный университет (ИУБиП), 2018. — С. 131–134.

---

© Аддас Сафух (addassafouh@gmail.com); Шварцбург Леонид Эфраимович (lesh@stankin.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ: МОДЕРНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ

### MANAGEMENT IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS: MODERNIZATION OF THE WORK OF THE FIRE SERVICE

**S. Aksenov  
I. Gayfullin**

*Summary.* This paper discusses the main objectives behind the establishment of fire and rescue teams, focusing on their role in fighting a significant number of conventional fires, as well as preparing for large-scale fire incidents. It highlights that large fires represent the most challenging scenarios faced by firefighting teams. The paper presents a model for estimating the frequency of large fires based on three key indicators: response time to fires, the number of firefighting equipment used, and the number of water sources used to extinguish fires.

*Keywords:* large fire, operational activity, occupancy time, mobile fire and rescue equipment, fire extinguishing agent delivery devices, histogram, decision tree.

**Аксенов Сергей Геннадьевич**

д-р э.н., профессор,

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий

beregpilya@mail.ru

**Гайфуллин Ильдар Рустемович**

магистрант,

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий

pavel1112w@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются основные задачи, стоящие за созданием пожарно-спасательных гарнизонов, особое внимание уделяется их роли в тушении значительного числа обычных пожаров, а также подготовке к крупномасштабным пожарным происшествиям. В ней подчеркивается, что крупные пожары представляют собой наиболее сложные сценарии, с которыми сталкиваются ППС. В работе представлена модель для оценки частоты крупных пожаров, основанная на трех ключевых показателях: времени реагирования на пожары, количестве используемого противопожарного оборудования и количестве источников воды, используемых для тушения пожаров.

*Ключевые слова:* крупный пожар, оперативная деятельность, время занятости, мобильная пожарно-спасательная техника, приборы подачи огнетушащих средств, гистограмма, дерево решений.

Согласно результатам исследования, основной целью создания пожарно-спасательных гарнизонов (ПСГ) является тушение значительного числа обычных пожаров с использованием установленных методов, а также обеспечение готовности к крупномасштабным пожарным происшествиям. В этом контексте крупный

пожар рассматривается как наиболее сложный сценарий, с которым может столкнуться PSG на протяжении всего срока ее эксплуатации.

Модель, показанная на диаграмме (рис. 1), описывает метод оценки частоты крупных пожаров путем тщательной оценки трех ключевых показателей:

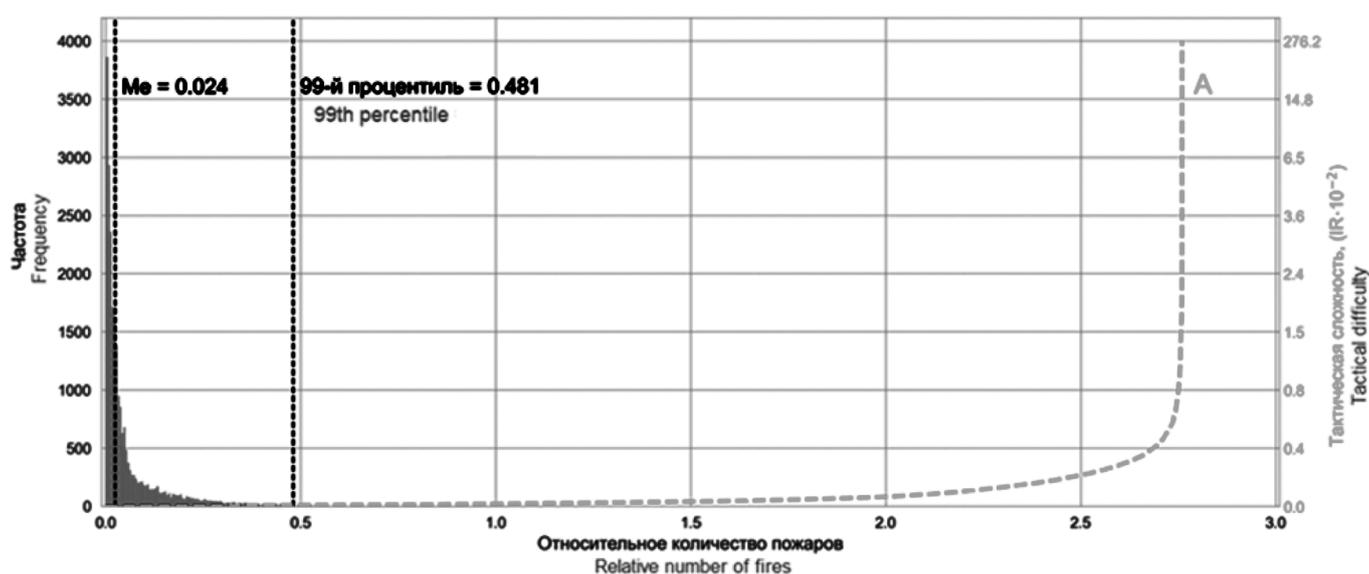


Рис. 1. Распределение пожаров, произошедших в Московской области за 2017 г. в зависимости от показателя тактической сложности (A) и частоты (Me — медиана)

- время, затрачиваемое на реагирование на пожар ( $T_{эн}$ );
- количество задействованного противопожарного оборудования ( $N_T$ );
- количество источников воды, используемых для тушения ( $N_{ств}$ ).

Практическое применение модели проиллюстрировано на примере Московской области, где ежегодно регистрируется самое большое количество пожаров в Российской Федерации (около 25 000 происшествий). В 2017 году в торговом центре «Синдика» в этом районе была проведена одна из самых сложных операций по тушению пожара.

Московская область входит в число наиболее сложных районов России для пожарно-спасательных подразделений, здесь более 5600 объектов повышенной опасности и самая высокая плотность населения — 175,25 человека на квадратный километр. Крупные пожары, требующие значительных ресурсов, происходят примерно каждые 4–5 лет, в то время как число обычных

пожаров колеблется от 100 000 до 130 000 случаев в год. В отличие от других регионов, где соотношение крупных и обычных пожаров примерно одинаковое (~10–5), такое неравенство в Московской области создает проблемы для Федеральной противопожарной службы в плане управления.

Для анализа этих вопросов, касающихся экономической эффективности и готовности пожарных служб, рекомендуется использовать методы «дерева решений», как показано на прилагаемой структурной схеме (рис. 2).

На начальном (нулевом) уровне мы можем концептуально разделить процесс управления на две области: тушение обычных пожаров (1) и крупных пожаров (2). Каждая область состоит из трех ключевых компонентов:

- Численность: Сюда входит персонал ПСП, участвующий в пожаротушении и спасательных операциях, а также дополнительные подразделения управления и службы поддержки.
- Обучение: Включает в себя мероприятия по поддержанию боевой готовности ПСП, включая на-

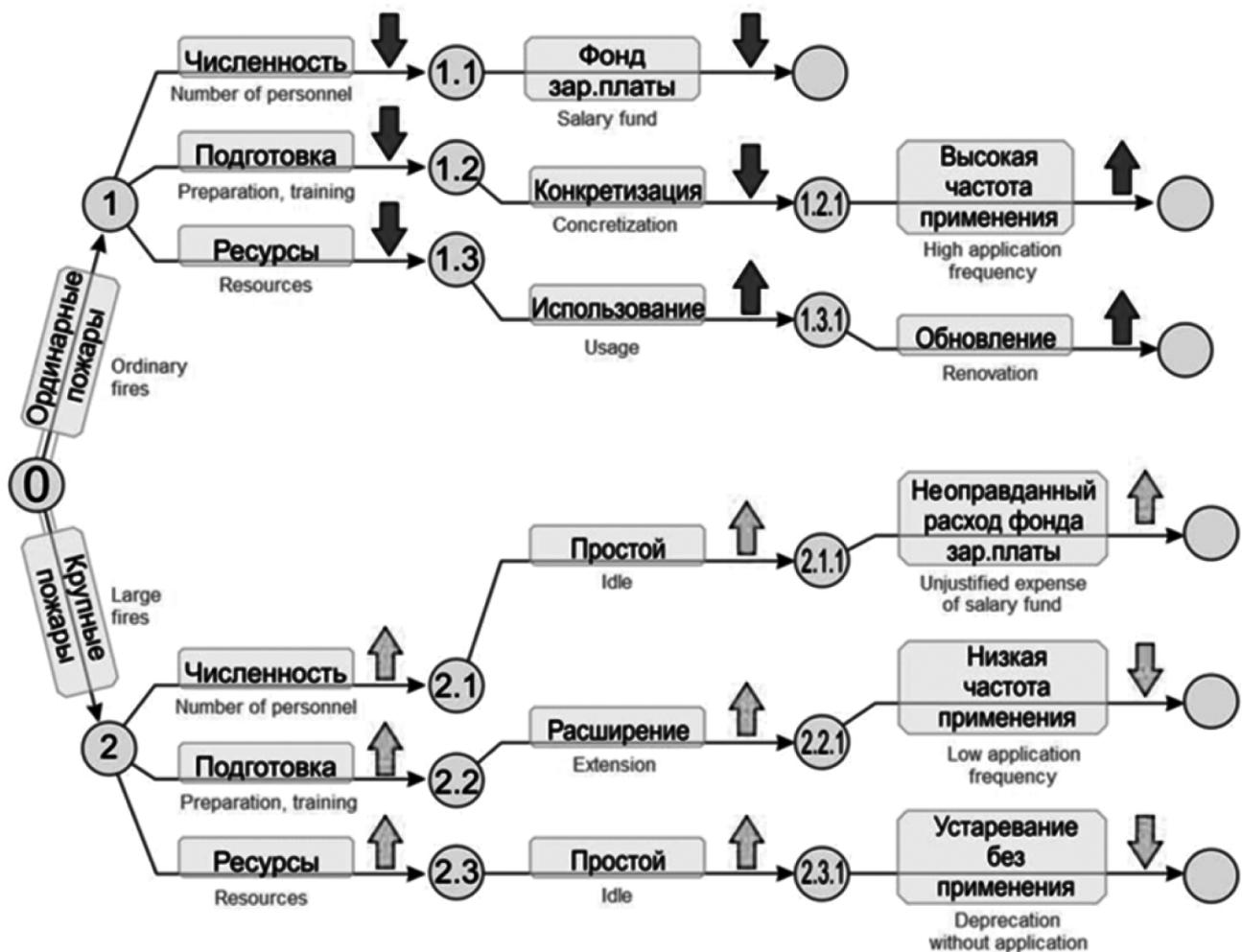


Рис. 2. Дерево решений для оценки экономической эффективности содержания пожарной охраны. Серые стрелки — тренд экономической эффективности и уровня боеготовности ПСП

бор, подготовку, повышение квалификации, медицинскую поддержку и обеспечение безопасных условий труда.

- Ресурсы: Это относится к техническому оборудованию, веществам и материалам, необходимым для выполнения поставленных задач (полный перечень приведен в главе 12 Технического регламента).

Давайте рассмотрим элементы первого направления более подробно. Если рассматривать гипотетический сценарий, при котором операции PSP ограничиваются обычными пожарами, то, согласно схеме (рис. 2), для снижения финансовых затрат и повышения общей готовности могут быть предложены следующие меры:

- Элемент 1.1: Сокращение штата ПСП позволит сэкономить на заработной плате, что позволит перенаправить средства на улучшение материального обеспечения как ПСП, так и ее подразделений.
- Элемент 1.2: Возможно снижение требований к обучению, поскольку тушение обычных пожаров требует лишь ограниченного набора тактических приемов и методов, а также минимального количества огнетушащих веществ и меньшего числа пожарных, использующих оборудование малой и средней мощности. Такой подход сокращает общее время обучения персонала PSP, уделяя особое внимание необходимым знаниям для быстрой квалификации.
- 1.2.1: Высокая частота обычных пожаров позволяет пожарным регулярно практиковать скоординированную тактику, помогая им сохранять и эффективно применять свои навыки.
- Элемент 1.3: Количество и разнообразие средств пожаротушения могут быть сокращены. Аналогичные условия при обычных пожарах позволяют использовать стандартный набор инструментов и реагентов.
- 1.3.1: Регулярное использование одних и тех же инструментов помогает пожарным поддерживать и, возможно, совершенствовать свои профессиональные навыки. Эффективное управление ресурсами может продлить срок службы инструмента, а модернизация должна основываться на практическом опыте и соответствовать конкретным условиям эксплуатации каждого ПСП.

Первоначальные выводы в первом направлении показывают, что, используя ПСП исключительно для ликвидации обычных пожаров, можно создать стабильную и эффективно функционирующую организацию, которая постоянно развивается в направлении достижения оптимального уровня экономической эффективности и боевой готовности.

В этом контексте тушение крупных пожаров выступает в качестве дестабилизирующего фактора, наруша-

ющего стабильное функционирование ГАЭС. Ветви дерева решений (рис. 2), относящиеся к этому направлению, экономически неэффективны и создают непредсказуемую потребность в увеличении ресурсов и расширении тактических возможностей. Кроме того, эти факторы могут потребовать дальнейших улучшений и обновлений PSG как организации.

- Элемент 2.1: Количество — Для эффективного тушения крупного пожара необходимо быстро мобилизовать значительное количество высококвалифицированного персонала ПСП. Таким образом, достаточное количество пожарных должно находиться в режиме ожидания в одном месте и быть готовым отреагировать на вызовы в кратчайшие сроки.
- Элемент 2.1.1: Вынужденный простой — Как упоминалось ранее, крупные пожары в пределах юрисдикции ПСП происходят очень редко, что делает экономически нецелесообразным постоянное содержание «чрезмерного» числа пожарных на дежурстве.

Неоправданный перерасход бюджета на оплату труда происходит при содержании высококвалифицированных специалистов, которые требуются только при крупных пожарах. В обычных условиях заработная плата должна выплачиваться регулярно на их профессиональном уровне, независимо от того, тушат ли они обычные или крупные пожары.

- Элемент 2.2: Подготовка — Условия, связанные с возникновением и развитием крупных пожаров, могут привести к множеству непредсказуемых ситуаций, таких как наличие большого количества строительных и отделочных материалов с неизвестной пожарной опасностью, подобных пожару в торговом центре Синдика в 2017 году. Обучение пожарных эффективным действиям в таких сложных ситуациях требует отхода от стандартных решений и развития навыков принятия оперативных решений в критических ситуациях, что требует более высокого уровня организации профессиональной подготовки.
- Элемент 2.2.1: Расширение перечня задач — Как правило, это организуется на основе научно обоснованных прогнозов относительно уровней пожарной опасности промышленных и гражданских объектов, находящихся в юрисдикции ПСП.

Нечастое использование навыков, приобретенных во время обучения пожарных, может привести к тому, что определенные навыки останутся актуальными на протяжении всей их карьеры.

- Элемент 2.3: Аналогично соображениям, изложенным в предыдущем руководстве (2.2) относитель-

но ресурсов ПСП, может возникнуть аналогичная ситуация, когда для поддержания готовности к широкому спектру потенциальных угроз в пределах юрисдикции PSP необходимо иметь в наличии соответствующий набор ресурсов. В этот список может входить высокопроизводительное и специализированное противопожарное оборудование, специальные огнетушащие вещества, средства противопожарной защиты от опасных факторов пожара и другие дорогостоящие предметы, необходимые для эффективной борьбы с крупными пожарами.

- Элемент 2.3.1: Время простоя, связанное с использованием дорогостоящих ресурсов, может привести к значительно большим экономическим потерям по сравнению с простоем оборудования, необходимого при обычных пожарах.

Устаревание без практического применения может произойти, когда специализированное противопожарное оборудование, предназначенное для тушения пожаров на конкретных уникальных объектах, остается в режиме ожидания в течение всего срока эксплуатации объекта, так и не будучи использованным. Такая ситуация часто наблюдается на атомных электростанциях, нефтехимических предприятиях и аналогичных объектах.

Все пожары, включая обычные, крайне нежелательны для общества и постоянно угрожают нормальному функционированию повседневной жизни. В этом контексте крупные пожары представляют еще большую опасность для общества. Кроме того, негативные последствия, связанные с факторами второго направления, как показано на диаграмме (рис. 2), создают обоснованную потребность в постоянном совершенствовании и модернизации ПСП как организации.

Функционирование ПСП определяется условиями его работы, основной целью которых является поддержание надлежащего уровня пожарной безопасности при одновременном обеспечении гармоничного сосуществования с другими организациями и гражданами. Для достижения этой цели разрабатывается программа действий, в которой излагаются эффективные методы внедрения необходимых элементов для обеспечения устойчивого прогресса и поддержания гомеостаза ПСП. В этом контексте крупные пожары признаны ключевым фактором, влияющим на деятельность ПСП.

Процесс функционирования ПСП можно схематично представить в виде спирали (рис. 3), разделенной на три этапа: подготовка, активные операции и оценка результатов. Чтобы гарантировать, что эта модель точно отражает реальные условия, ее следует рассматривать в динамике, учитывая влияние как внешних, так и внутренних факторов. Кроме того, объем управленческой

деятельности в рамках ПСП должен определяться размером области управления (набором контролируемых параметров) и глубиной контроля (количеством действий, связанных с индикаторами в процессе управления).

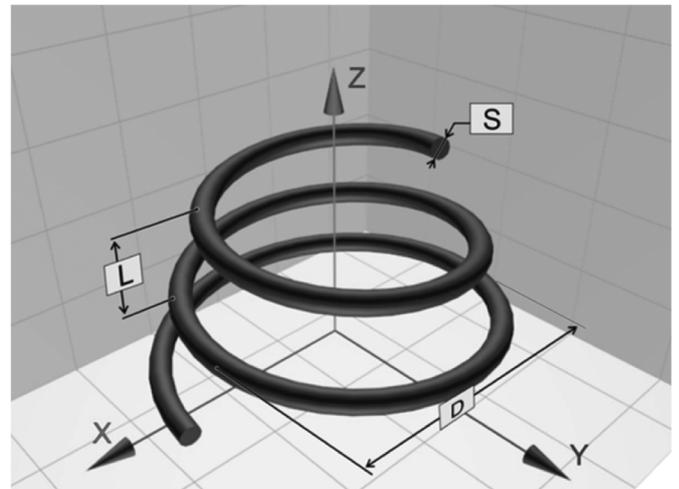


Рис. 3. Модель развития:

$D$  — величина изменяемого поля управленческой деятельности (диаметр витка);  $S$  — глубина обработки данных (диаметр прутка);  $L$  — шаг развития;  $X, Y, Z$  — координатные оси

Циклическая модель функционирования ПСП включает этапы разработки ( $L$ ), которые предполагают изменения в системе управления, которые могут накапливаться с течением времени и приводить к несоответствиям, требующим реорганизации. В то время как обычные пожары обеспечивают стабильную работу и постепенную модернизацию, крупные пожары могут вызвать значительные качественные.

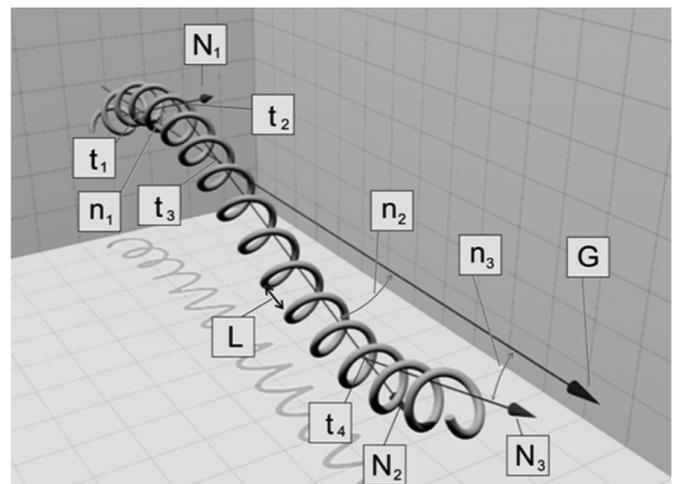


Рис. 4. Модель длительного спиралеобразного развития:

$G$  — генеральный курс развития;  $N_1, N_2, N_3$  — вектора (направления) развития системы в моменты времени  $t_1, t_2, t_4$ ;  $n_1, n_2, n_3$  — величина отклонения от генерального курса ( $G$ ) в моменты времени  $t_1, t_2, t_4$ ;  $L$  — шаг развития (расстояние между витками)

В литературе по теории менеджмента используются различные термины. Обычно используются такие термины, как «совершенствование управления», «организация управления», «формирование управления» и «совершенствование организации управления». Критериями для различения этих терминов могут быть концепция открытости систем управления и точка зрения исследователя на объект исследования.

Открытость системы управления определяется тем, насколько хорошо она распознает объективное влияние внешних факторов, в том числе других организаций, на развитие как деятельности, так и самого процесса управления, независимо от предпочтений персонала организации. Следовательно, развитие менеджмента в рамках ПСГ следует рассматривать как гомеостаз социальной системы.

Во всех случаях управленческая команда ПСГ должна участвовать в рассмотрении проектов и принятии решений, касающихся реорганизации системы управления. Модернизация системы управления может интерпретироваться по-разному и обозначаться разными терминами:

- модернизация управления — это самый широкий термин, обозначающий процесс, посредством которого организация внедряет новые элементы как в содержание, так и в структуру управления.
- организация управления — это процесс, посредством которого организация обеспечивает эффективность управленческих операций. Эта деятельность часто описывается как самоорганизация или поддержание гомеостаза в социальной системе.
- формирование менеджмента предполагает определение рациональных организационных форм управления в реальных условиях.
- проектирование управления предполагает разработку планов для обеспечения стабильного функционирования и совершенствования методов управления.
- организация, совершенствующая управление, фокусируется на внедрении внешних изменений и внутренних инноваций в процесс и структуру управления. Это предполагает несоответствие между содержанием и формой управления, что требует обновления структуры и механизмов управления.
- развитие управления рассматривается как естественное продолжение модернизации менеджмента, которое следует изучать, понимать и применять для совершенствования практики управления.

Следовательно, разумно и логично использовать термины «совершенствование», «организация» и «фор-

мирование» менеджмента для обозначения целенаправленных усилий по модернизации и участия в этих мероприятиях. Напротив, термин «развитие» менеджмента отражает реальные, объективные изменения, происходящие в системе управления. Также важно отличать «развитие» от «функционирования» по ряду объективных причин [8, 9].

Во-первых, развитие менеджмента предполагает модернизацию программы управления для адаптации к новым режимам работы, которые выходят за рамки прежних рамок. Этот непрерывный процесс эволюции структур управления и контроля происходит с разной скоростью и зависит от различных факторов; однако для развития требуется определенное сочетание этих факторов.

Во-вторых, организация функционирует за счет оптимизации процесса управления без изменения своей структуры, которая определяет ее организационную форму. Таким образом, изменения в формах управления означают развитие, а не просто функционирование.

Наконец, важно понимать, что функционирование и развитие — это принципиально разные явления, которые не следует смешивать при объективном анализе процесса управления. Они обладают различными свойствами, содержанием и механизмами.

Разработкой системы управления в основном занимаются непосредственные участники (сотрудники) управленческого аппарата, которые не только эксплуатируют систему, но и участвуют в ее реорганизации. Кроме того, к модернизации могут быть привлечены внешние научные, проектные и консалтинговые организации. Однако функционирующие элементы и управленческие подразделения часто испытывают трудности с объективным и эффективным выявлением своих собственных проблем и решением задач организационного развития. Даже когда они осознают эти проблемы, им приходится одновременно решать текущие рабочие задачи и решать функциональные проблемы.

Противоречие между функционированием и развитием проистекает из цикличности функционирования, которая приводит к постепенному накоплению проблем, требующих значительных изменений. Изучение проблемы развития менеджмента является сложной и трудоемкой задачей. Таким образом, объединение функций в рамках управленческого аппарата для решения как оперативных задач, так и улучшений — учитывая их различную природу и цели — не является ни конструктивным, ни эффективным.

Развитие менеджмента может осуществляться с помощью различных подходов, которые обычно подраз-

деляются на две группы: эволюционное развитие и ускоренная (или скачкообразная) модернизация. Однако провести четкое различие между этими двумя путями может быть непросто. Анализ схематического представления позволяет выявить несколько типов развития менеджмента (рис. 3, 4):

- Постепенное совершенствование управления характеризуется этапами развития, которые длятся от одного до двух лет и охватывают один или два уровня системы.
- Резкая модернизация управления осуществляется посредством единой многоуровневой реформы (глубиной в три-четыре уровня), проводимой каждые три-шесть лет со средней периодичностью один раз в пять лет.
- Реформаторское развитие менеджмента, как необходимая мера, предполагает комплексную ре-

организацию, охватывающую все уровни системы и проводимую примерно каждые 10–15 лет.

Дополнительным важным аспектом развития управления является взаимосвязь между совершенствованием менеджмента в основных секторах экономики и эволюцией государственного управления.

Таким образом, анализ повседневной работы пожарно-спасательных гарнизонов показывает, что действия, как правило, происходят в условиях стабильного потока вызовов на обычные пожары, что поддерживает эволюционное развитие системы управления, но может привести к застою в модернизации тактики и оборудования. Однако потенциальная угроза крупного пожара, хотя и нечастая, требует значительной модернизации всей структуры пожарно-спасательного гарнизона, включая материальные ресурсы и системы управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.Г., Шаймуратова Н.И. Унифицированное математическое моделирование для организационного управления // Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики». — 2024. — №8. С. 56–61.
2. Порошин А.А., Власов К.С. Понятие «крупный пожар» и критерии его определения // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 3. С. 37–44. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2021.64.89.005>. <https://elibrary.ru/xixczw>
3. Хилл К. Научное программирование на Python / пер. с англ. А.В. Снастина. М.: ДМК Пресс, 2021. 646 с.
4. Власов К.С. Компьютерные методы исследования обстановки с пожарами и оперативно-тактической деятельности пожарно-спасательных подразделений: учеб. пособие. М.: ВНИИПО МЧС России, 2022. 380 с.
5. Груздев А.В. Прогнозное моделирование в IBM SPSS Statistics и R: Метод деревьев решений. М.: ДМК Пресс, 2016. 278 с.
6. Как разобраться в дереве принятия решений и сделать его на Python / SkillFactory. Онлайн школа IT-профессий. <https://habr.com/ru/company/skillfactory/blog/526970>
7. Ружанская Л.С., Яшин А.А., Солдатова Ю.В. Теория организации: учеб. пос. Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2015. 200 с.
8. Удалов Ф.Е., Алёхина О.Ф., Гапонова О.С. Основы менеджмента: учеб. пос. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2013. 363 с.
9. Сатин А.П. Оптимизационные методы управления ресурсами пожарных подразделений: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. 155 с.
10. Патрушина С.М., Аручиди Н.А. Информационные системы в экономике: учеб. пос. Ростов-на-Дону: Мини Тайп, 2012. 142 с.

© Аксенов Сергей Геннадьевич (beregilya@mail.ru); Гайфуллин Ильдар Рустемович (pavel112w@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ОСНОВАННЫХ НА ОНТОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТАХ

## REVIEW OF MODELS FOR INTELLECTUAL DECISION SUPPORT METHODS BASED ON THE ONTOLOGY OF ORGANIZATIONAL MANAGEMENT IN SOFTWARE PROJECTS

**S. Aksenov  
M. Mikhailova**

*Summary.* The article examines the use of models and methods of intellectual decision support in the management of software projects. The concept of managerial decision-making based on the principles of knowledge management is proposed, including an ontological analysis of software project management and the development of a knowledge base. In addition, it sets out the requirements for the knowledge base of an intelligent decision support system and verifies its compliance with these requirements.

*Keywords:* organizational management, conceptual framework, knowledge structure.

**Аксенов Сергей Геннадьевич**

д-р э.н., профессор,

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

**Михайлова Марина Юрьевна**

магистрант,

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

*Аннотация.* В статье исследуется использование моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении программными проектами. Предлагается концепция принятия управленческих решений, основанная на принципах управления знаниями, включающая онтологический анализ управления программными проектами и разработку базы знаний. Кроме того, в нем излагаются требования к базе знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений и проверяется ее соответствие этим требованиям.

*Ключевые слова:* организационный менеджмент, концептуальная основа, структура знаний.

На данном этапе развития мировой экономики проектная деятельность стала необходимой для производственных компаний в различных отраслях, поскольку многие бизнес-процессы управляются с помощью взаимосвязанных проектов. Эти организации выполняют сложные основные и вспомогательные виды деятельности, которые различаются по сложности управления, численности персонала, источникам информации и условиям эксплуатации. Автоматизация этих процессов с помощью систем управления информацией в рамках соответствующих программных проектов является высокоэффективной стратегией повышения качества управления.

Основной причиной провала многих программных проектов является использование неэффективных методов управления организационным развитием. Руководители проектов часто выбираются из числа опытных разработчиков, а не подготовленных менеджеров, что приводит к недостаточным навыкам эффективного управления в сложных ситуациях.

Организационный менеджмент в проектах по разработке программного обеспечения включает в себя

знания о методах и инструментах сбора, передачи и обработки информации, связанной с принятием решений и контролем их реализации. Поскольку отдельные лица или группы выступают как субъектами, так и объектами управления, это усложняет роль руководителя проекта. Успех в проектах по разработке программного обеспечения зависит от точных и своевременных решений; таким образом, руководители проектов должны применять научные подходы для поддержки принятия решений, а не полагаться исключительно на личные суждения.

Для улучшения организационного управления проектами по разработке программного обеспечения была разработана концепция интеллектуальной поддержки принятия решений, основанная на теории организации и подходах к управлению информацией. Эта платформа облегчает представление знаний посредством онтологического анализа и поддерживает применение экспертных знаний для решения задач управления проектами по разработке программного обеспечения.

Управление знаниями предполагает стратегическую деятельность, направленную на оптимизацию существующих ресурсов знаний или создание новых информаци-

онных активов для повышения конкурентоспособности. Жизненный цикл знаний включает в себя такие этапы, как отбор, техническая поддержка, измерение, передача и применение. Инженерия знаний направлена на разработку технологических инструментов для управления знаниями и создание моделей и систем для структурирования экспертных знаний в пригодные для использования базы данных. Схема, иллюстрирующая цикл управления знаниями с использованием предлагаемой системы поддержки принятия решений (DSS), показана на рисунке 1. Предлагаемая концепция интеллектуальной поддержки принятия решений охватывает ключевые процессы цикла управления знаниями, который включает в себя создание визуальной объектно-ориентированной модели управления знаниями, онтологической модели поддержки принятия решений и модели формирования знаний. В рамках этой концепции была разработана структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений, состоящая из нескольких компонентов: онтологии для поддержки принятия решений; базы знаний, включающей модуль для правил принятия решений и модуль для прецедентов; набор

объектных, онтологических и аналитических моделей, облегчающих процесс принятия решений; модуль, предназначенный для выбора подходящей аналитической модели (ов) для конкретной задачи; и модуль для генерации решений на основе базы знаний и математического моделирования.

Создание моделей, методов и алгоритмов для онтологического анализа и обработки знаний было предпринято для достижения более высокого качества решений за счет использования единого информационного пространства. Такой подход позволяет адаптировать процессы к меняющимся внешним условиям путем обработки накопленных корпоративных знаний и обмена ими. Кроме того, это облегчает интеграцию информационных потоков с использованием современных информационно-коммуникационных технологий, позволяя совместно управлять задачами в режиме реального времени.

Формализация знаний происходит посредством разработки объектно-ориентированной модели управления знаниями для управления проектами программ-

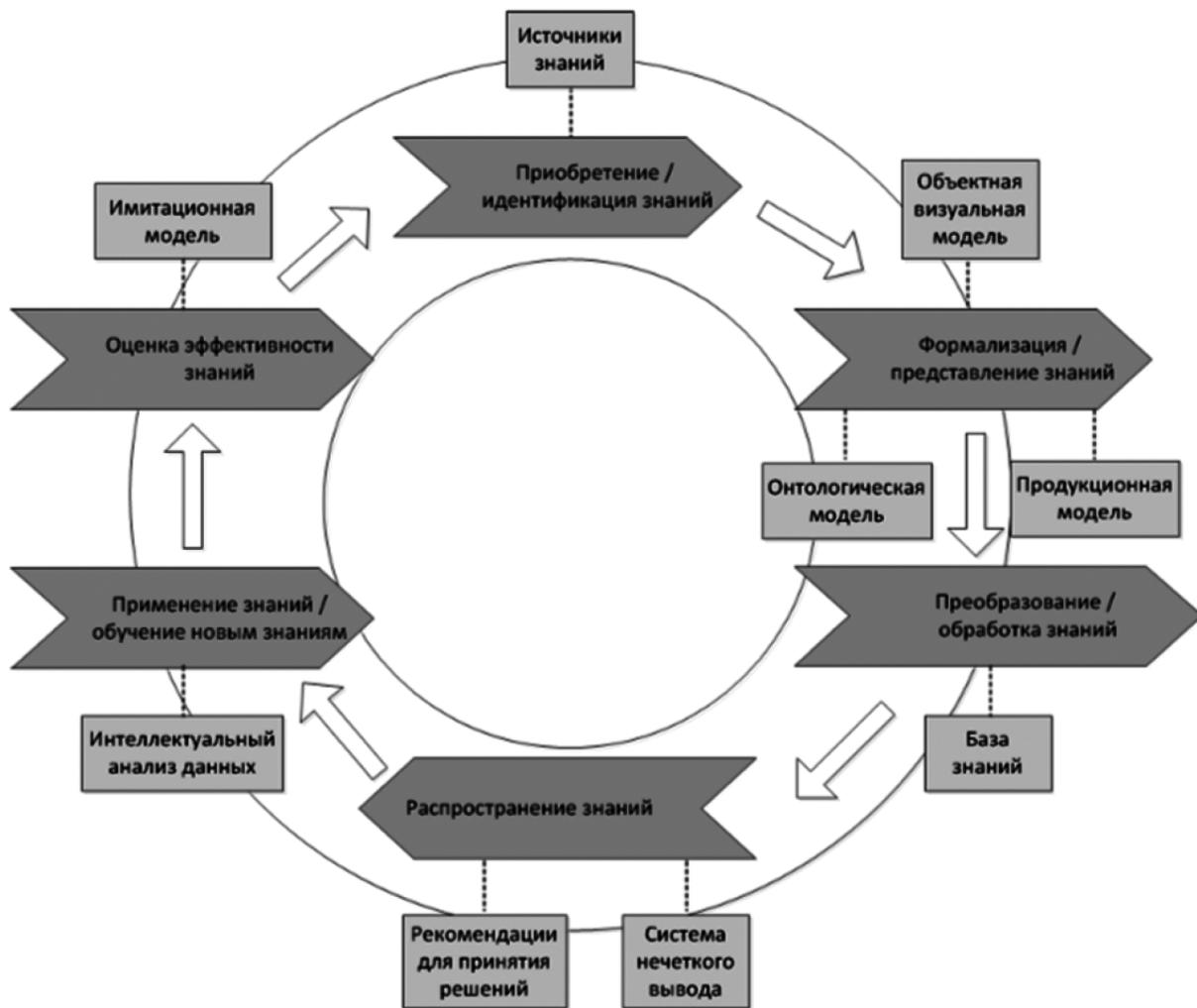


Рис. 1. Схема цикла управления знаниями

ного обеспечения, которая создает неформальную базу знаний на этапе проектирования. Эта модель преобразуется в онтологию поддержки принятия решений с использованием описательной логики, представляющей объекты и классы как концепции в рамках онтологии.

Онтология определяет соответствующие понятия и их взаимосвязи, позволяя создавать модели представления знаний в виде правил для принятия решений. Вместе с онтологией эти модели формируют базу знаний Интеллектуальной системы поддержки принятия решений (IDSS), которая поддерживает принятие решений с использованием различных методов и алгоритмов.

Следующий этап включает распространение знаний посредством логического вывода, интеграцию стратегий для обоснования и принятия решений. База знаний адаптируется и обновляется с помощью интеллектуального анализа данных и экспертных оценок в ответ на изменения в условиях управления. Заключительный этап управления знаниями включает в себя оценку эффективности накопленных знаний путем оценки эффективности правил и прецедентов в базе знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) с использованием имитационной модели.

При моделировании процесса управления знаниями устанавливаются парадигмальные взаимосвязи между когнитивными элементами, участвующими в организационном управлении разработкой программного проекта. К ним относятся причинно-следственные связи (RC), отношения подобия (RS), а также отношения обобщения, ассоциации, зависимости и реализации. Модели структуры  $DClass = \{C(A^c, O), R^x(Role, Mult)\}$  содержат описание абстрагированных понятий и сущностей  $C$ , являющихся базовыми объектами предметной области  $C_i \in E$  и определяют отношения  $R^x$  между ними.

Онтология предоставляет формальную спецификацию предметной области, включая глоссарий соответствующих терминов и логических выражений, которые определяют их значения и взаимосвязи. Она предлагает четкое описание понятий предметной области (классов), их атрибутов (слотов) и любых ограничений на эти атрибуты.

Онтологическая модель лежит в основе базы знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений, создавая общий словарь для задач управления и определяя семантику сообщений. Это способствует эффективному взаимодействию между сторонами, обменивающимися информацией и управляющими взаимосвязанными процессами, поддерживая ключевые функции, необходимые для принятия решений.

На рисунке 2 показан фрагмент онтологии поддержки принятия решений, созданной с помощью редактора онтологий Protégé 4.3.

Основным преимуществом использования онтологий в организационном управлении является их комплексный подход к управляемым процессам. Это приводит к нескольким результатам: согласованности (онтология предоставляет интегрированное представление о предметной области), единообразию (информация, представленная в стандартизированном формате, легче воспринимается) и сложности (структура онтологии позволяет восстановить недостающие логические связи).

Структура разработанной онтологии поддержки принятия решений может быть проиллюстрирована следующим образом:

$$Onto = Onto^{meta}, Onto^{app}, Onto^{org}, InfF$$

где  $InfF$  — модели машин выводов, ассоциированных с онтологической системой  $Onto$ .

Метаонтология  $Onto^{meta}$  включает в себя всеобъемлющие понятия в области управления знаниями, включая такие термины, как «объект», «атрибут», «значение», «отношение» и другие.

Предметная онтология  $Onto^{app}$  включает в себя концепции, характерные для области управления разработкой программного обеспечения, организованные в соответствии с иерархией, определенной для этого конкретного объекта. Полная предметная онтология  $Onto^{app}$  может использоваться для разработки и рассматриваться как часть базы знаний при работе с определенной предметной областью. Он включает в себя такие понятия, как «программный проект», «требования», «член команды разработчиков», «фаза жизненного цикла проекта» и многое другое.

Онтология  $Onto^{org}$  охватывает концепции, относящиеся к области организационного управления, включая задачи, модели и методы принятия решений. В ней представлены такие классы, как «задача», «проблемная ситуация», «решение», «область знаний» и другие.

Некоторые системы включают функциональные возможности для проверки согласованности категорий, оценивая, являются ли критерии принадлежности к категориям логически обоснованными. Онтологический редактор Protégé 4.3 предлагает функции, которые позволяют проверять построение T таксономии с помощью встроенного механизма логического вывода, такого как HermiT. Этот механизм логического вывода автоматически генерирует иерархию понятий, и анализ этой иерархии помогает выявить противоречия внутри таксономии.

Применение правил облегчается с помощью механизма логического вывода. Этот логический контроль

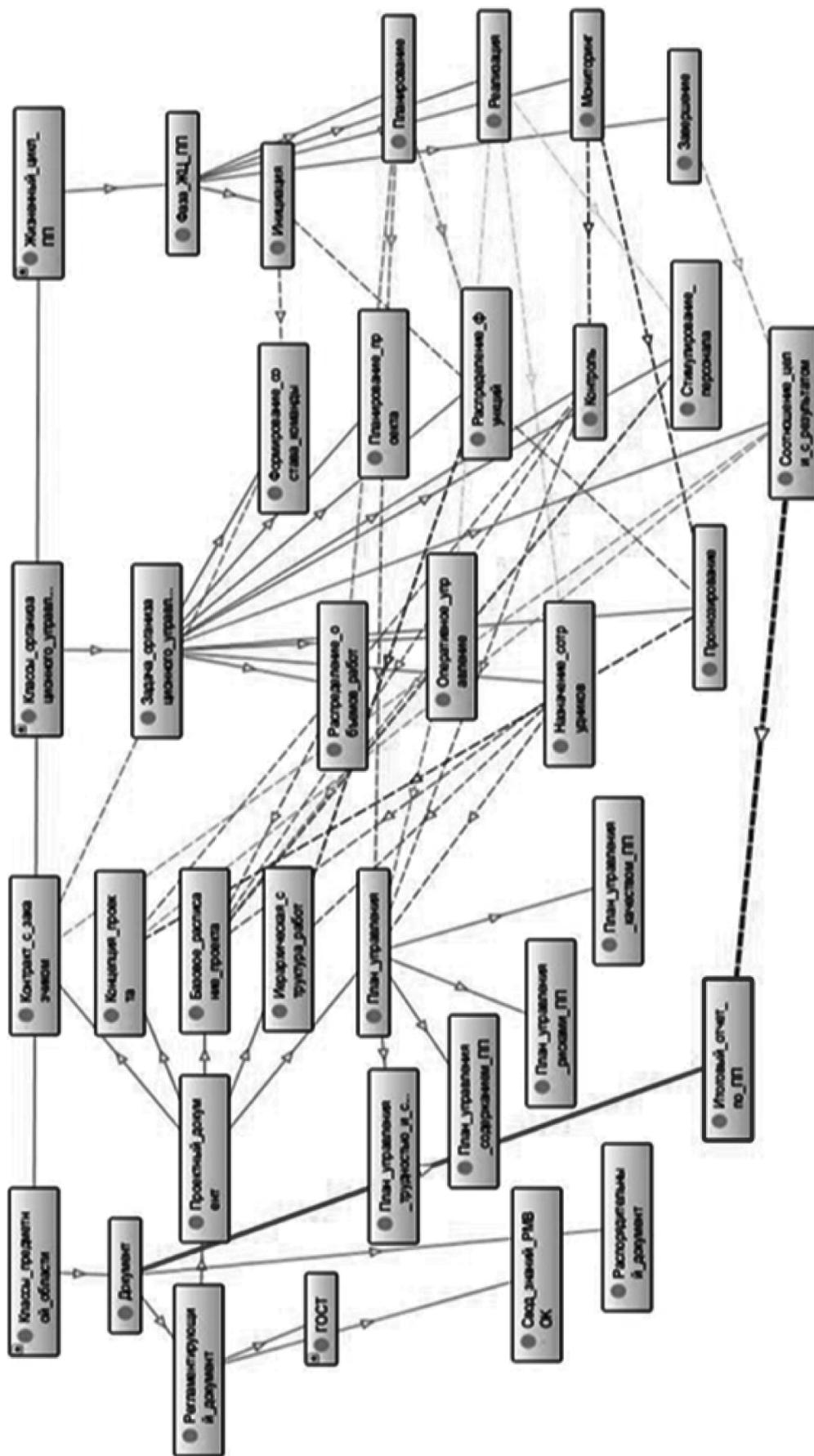


Рис. 2. Фрагмент онтологии поддержки принятия решений

означает, что рассуждения эксперта выражаются в виде нечетких правил, в которых конкретные действия оцениваются с учетом различных предпосылок. Для создания базы данных нечетких правил с использованием интеллектуального анализа данных может быть использован модифицированный метод формирования нечетких правил. Этот подход позволяет включить в онтологию набор классов нечетких сущностей  $\tilde{C} = C \cup C_F$ ; набор нечетких свойств  $\tilde{Pr} = Pr \cup Pr_F$ ; набор нечетких значений свойств  $\tilde{V} = V \cup V_F$  представлен лингвистическими переменными; набор примеров  $\tilde{I} = I \cup I_F$  для классов  $C_F \in \tilde{C}$ ; и набор бинарных нечетких отношений между понятиями  $\tilde{R} = R \cup R_F$ .

Таким образом, мы можем обсудить создание базы данных нечетких правил на основе онтологии, основанной на концепции лингвистической переменной  $L$ , который может быть охарактеризован набором, структурированным следующим образом:

$$L = W, T, X, G, M$$

где  $W$  обозначает имя лингвистической переменной;  $T$  представляет собой набор его значений (набор терминов), который включает в себя имена нечетких переменных, каждая из которых определена в предметной области  $X$ ; этот набор  $T$  называется базовым набором терминов лингвистической переменной.  $Gg$  — это синтаксическая процедура, которая позволяет манипулировать элементами в наборе терминов  $T$ , в частности, для генерации новых терминов (значений).  $M$  — это семантическая процедура, которая преобразует каждое новое значение лингвистической переменной, созданное процедурой  $G$  в нечеткую переменную, эффективно формирующую соответствующее нечеткое множество.

Для формализации знаний в условиях неопределенности была использована модель нечеткого вывода, которая опирается на нечеткую базу знаний, содержащую нечеткие правила управления. Набор условий и выводов в рамках этой нечеткой базы знаний определяет производственное нечеткое правило (fuzzyrule) в модели Такаги–Сугено–Кана (TSK).

Для систем с  $n$ -входами и одним выходом набор утверждений, представляющих знания предметной области, может быть выражен с помощью набора нечетких правил TSK, структурированных следующим образом:

$$R_i: \text{Если } x_1 \text{ есть } A_1^i \text{ и } x_2 \text{ есть } A_2^i \text{ и } \dots \text{ и } x_n \text{ есть } A_n^i \\ \text{то } y^i = f(x_1^i, \dots, x_n^i),$$

где  $R_i$  ( $i = 1, 2, \dots, K$ ) —  $i$ -е правило;  $x_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) — входные переменные;  $A_j^i$  — нечеткие подмножества, характеризующиеся функциями принадлежности, такими как треугольные, трапециевидные или гауссовы.  $y^i$  — выход  $i$ -го правила.

Набор нечетких производственных правил образует базу нечетких правил  $\{R_i\}_{i=1}^K$ . Предположим, что функция принадлежности множества  $A_j^i$  представлена в виде функции Гаусса и определяется ее центром  $a^i$  в  $c^i$ :  $A^i = (a^i, c^i)$ . Классическое представление четкой функции выхода

$$y^i = f(x_1^i, \dots, x_n^i) = p_0^i + \sum_{j=1}^n p_j^i x_j^i,$$

где  $p_0^i, \dots, p_n^i$  — цифровые веса.

Выход нечеткой системы может быть записан в форме

$$(5) y = \sum_{i=1}^K \frac{w^i}{\sum_{i=1}^K w^i} y_i = \sum_{i=1}^K w^i y_i,$$

где  $w^i$  определяется как

$$(6) w^i = T_{j=1}^n(T_j^i(x_j)),$$

где  $T_j^n$  — оператор  $t$  норм.

Основываясь на принципах инженерии знаний, к базе знаний ИСППР были установлены следующие требования: семантическая целостность знаний; согласованность, полнота и непрерывность знаний; а также точность взаимодействия пользователя с интеллектуальной системой поддержки принятия решений.

Семантическая целостность знаний достигается путем моделирования классов объектов и их взаимосвязей в рамках онтологии поддержки принятия решений с использованием языка OWL DL в соответствии с описательной логикой. Согласованность, полнота и непрерывность знаний поддерживаются в процессе построения правил в базе знаний.

Для оценки непрерывности  $\{R_i\}_{i=1}^K$  используются следующие концепции: упорядоченный набор нечетких множеств и смежные нечеткие множества.

Совокупность нечетких множеств  $\{A_i\}$  называется упорядоченной, если между ними существует определенное отношение порядка, например:

$$"<": A_1 < \dots < A_{i-1} < A_i < A_{i+1} < \dots$$

Если набор  $\{A_i\}$  упорядочен, то наборы  $A_{i-1}$  и  $A_i$ , а также наборы  $A_i$  и  $A_{i+1}$  называются смежными. Предполагается, что эти нечеткие множества не перекрываются.

База правил  $\{R_i\}_{i=1}^K$  называется непрерывной, если для правил вида

$$R_i: \text{если } x_1 = A_{1i} \text{ и } x_2 = A_{2i}, \text{ тогда } y = c_i \text{ и } i' \neq i,$$

имеем:

- $A_{1i} = A_{1i'}, \wedge A_{2i}, A_{2i'}$  являются прилегающими;

- $A_{2i} = A_{2i'} \wedge A_{1i}$ ,  $A_{1i'}$  являются прилегающими;
- $c_i$  и  $c_i'$  являются прилегающими.

Полнота  $\{R_i\}_{i=1}^K$  служит показателем для оценки полноты знаний в базе правил. Неполная база правил содержит «пробелы» для конкретных ситуаций (на семантическом уровне), что означает, что взаимосвязи между входными и выходными данными четко не определены. Это явление возникает из-за характеристик нечетких множеств, используемых в условиях правила.

В качестве меры полноты  $CM(x)$  используется критерий

$$CM(x) = \sum_{i=1}^{N_r} \left\{ \prod_{j=1}^{N_x} \mu_{A_{ik}}(x) \right\},$$

где  $x$  — физическая переменная входных данных;  $N_x$  — число условий в правиле;  $N_r$  — число правил в базе правил.

Числовые значения, связанные с критерием 1, позволяют классифицировать базы правил на основе полноты знаний: 2 указывает на «неполную» базу правил; 3 означает «неполноценную» базу правил; 4 представляет «абсолютно полную» базу правил; и 5 означает «избыточную» базу правил — основа правил.

Таким образом, проверка базы нечетких правил на непрерывность, согласованность и полноту повышает точность решений, полученных на ее основе.

Следующим шагом в разработке нечетких правил является настройка параметров с использованием нейрон-нечеткой сети ANFIS. Взаимодействие пользователя с ISPR оценивается путем сравнения его рекомендаций с решениями менеджеров и экспертными оценками, полученными в результате имитационного моделирования. Текущие исследования моделируют ключевые

задачи управления программными проектами с помощью пакета Bizagi BPMN, который обновляет базу знаний на основе решений, принимаемых в сложных ситуациях. Эта модель также учитывает объем запросов с течением времени и квалификацию лиц, принимающих решения, которые могут оценивать рекомендации и предоставлять обратную связь, что позволяет экспертам потенциально модифицировать онтологическую базу знаний.

Кроме того, имитационная модель оценивает ее влияние на эффективность принятия решений. Аналитические инструменты в рамках модели проанализировали частоту и продолжительность решения ключевых задач, показав, что поддержка принятия решений повышает эффективность для конкретных задач в управлении проектами программного обеспечения. Оценка ИСППР с помощью моделирования показала качественные улучшения, включая улучшение коммуникации между лицами, принимающими решения, возможности для обучения и более широкое распространение экспертных знаний в корпоративной среде.

Таким образом, исследование сосредоточено на решении ключевой научно-технической проблемы организационного управления программными проектами путем обеспечения интеллектуальной поддержки принятия решений с помощью онтологического анализа и базы знаний. Это включает в себя разработку концепции принятия управленческих решений, основанной на принципах управления знаниями, обеспечение непрерывности, последовательности и полноты базы данных нечетких правил, а также адаптацию параметров правил с использованием нейрон-нечеткой сети для повышения эффективности и точности принятия решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.Г., Лазарев П.Т. Нарративное моделирование в управлении социально-экономическими системами // Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики». — 2024. — №7 (2). С. 31–35.
2. ГОСТ Р 53894-2010. Менеджмент знаний. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2011. — 11 с.
3. Гаврилова, Т.А. Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы: Учеб. пособие, 2-е изд. / Т.А. Гаврилова, Д.И. Муромцев. — СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента»; Издат. Дом С. Петерб. гос. ун-та, 2008. — 488 с.
4. Бадамшин, Р.А. Проблемы управления сложными динамическими объектами в критических ситуациях на основе знаний / Р.А. Бадамшин, Б.Г. Ильясов, Л.Р. Черняховская. — М.: Машиностроение, 2003. — 240 с.
5. Черняховская, Л.Р. Формирование правил принятия решений в управлении проектами по результатам онтологического анализа / Л.Р. Черняховская, А.И. Малахова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XV международной конф. (25-28 июня 2013 г. Самара, Россия). — Самара: СамНЦ РАН, 2013. — С. 343–350.
6. Gruber, T.A translation approach to portable ontology specifications / T. Gruber // Knowledge Acquisition. 1993. V5. — P. 199–220.
7. Смирнов, С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования / С.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т.3. №1. — С. 62–70.
8. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. — М.: Мир, 1976. — 165 с.
9. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова; издание 2-ое, стереотипное. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 744 с.
10. Рутковский, Л. Методы и технологии искусственного интеллекта: Пер. с польск. / Л. Рутковский. — М.: Горячая линия–Телеком, 2010. — 520 с.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ ЦИФРОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ

## ENSURING RELIABILITY AND FAULT TOLERANCE CORPORATE DIGITAL COMMUNICATIONS

V. Voronin  
O. Romashkova

*Summary.* With the advent of digital technologies and the increase in the volume of information processed in the corporate environment, the reliability and fault tolerance of digital communications systems are becoming critical to the functioning of organizations. This article examines the key aspects of designing and implementing systems that ensure the reliability and fault tolerance of corporate digital communications. It also presents methods and approaches to minimize risks and ensure the continuity of business processes.

*Keywords:* architecture, modularity, clustering, corporate information systems, redundancy, mirroring.

**Воронин Владимир Алексеевич**

Аспирант, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет»  
mgvoron@gmail.com

**Ромашкова Оксана Николаевна**

Доктор технических наук, профессор,  
профессор Российской академии народного хозяйства  
и государственной службы  
при Президенте РФ» г. Москва  
ox-rom@yandex.ru

*Аннотация.* С появлением цифровых технологий и увеличением объема информации, обрабатываемой в корпоративной среде, надежность и отказоустойчивость систем цифровых коммуникаций становятся критически важными для функционирования организаций. В данной статье рассматриваются ключевые аспекты проектирования и реализации систем, обеспечивающих надежность и отказоустойчивость корпоративных цифровых коммуникаций. Также представлены методы и подходы, позволяющие минимизировать риски и обеспечить непрерывность бизнес-процессов.

*Ключевые слова:* архитектура, модульность, кластеризация, корпоративные информационные системы, резервирование, зеркалирование.

### Введение

Резервирование данных приобретает всё большее значение в современном мире, где цифровизация и обилие информации достигают невиданных масштабов. В этом контексте методы обеспечения надежности данных выходят на передний план как неотъемлемая часть корпоративных стратегий. Одна из таких методологий, зеркалирование дисков, представляет собой механизм, обеспечивающий защиту и доступность информации за счет дублирования данных на нескольких носителях. Эта техника минимизирует риск потери данных и сбоев системы, что, в свою очередь, способствует непрерывности бизнес-операций в условиях постоянного увеличения объема данных.

Важность резервирования данных проявляется не только в технологиях зеркалирования, но и в интеграции с более крупными системами отказоустойчивости, такими как кластеризация и балансировка нагрузки. Взаимодействие этих технологий обеспечивает не только сохранение информации, но и оптимизацию производительности систем. Это особенно критично для крупных организаций, где надежность, доступность и устойчивость данных играют ключевую роль в обеспечении бесперебойной работы и защиты бизнес-процессов. Эффективная архитектура требует, чтобы стратегические подходы к данным включали комплексный механизм

обеспечения устойчивости, снижающий риски сбоев и экономический ущерб от них.

Резервирование данных занимает центральное место в современном управлении цифровыми коммуникациями и информацией. Оно служит основой для адаптации компаний к быстро меняющимся условиям того, что организации всё больше зависят от цифровых ресурсов. Инновационные подходы в резервировании, такие как внедрение модульных систем и методов распределения нагрузки на серверах, укрепляют отказоустойчивость сети, что делает возможным бесперебойное функционирование в случае непредвиденных обстоятельств. Это крайне актуально, особенно в свете увеличивающихся объёмов данных и роста сложности сетевых инфраструктур.

Совершенствование методов резервирования также связано с развитием инструментов мониторинга, способных повысить общую устойчивость систем благодаря детализированному контролю и анализу в реальном времени. В совокупности с надёжными планами восстановления, эти инструменты обеспечивают высокую степень доступности и безопасности данных, что становится важной частью стратегии корпоративного управления в эпоху цифровизации. Таким образом, центральной целью данной работы является исследование значимости резервирования данных и его эффективной

интеграции для повышения надежности и устойчивости цифровых систем, что критически важно для поддержания конкурентоспособности в современных условиях.

## 1. Архитектурные подходы обеспечения надёжности

### 1.1. Методы резервирования данных

Резервирование данных является ключевым элементом в обеспечении надежности цифровых систем. Особое внимание уделяется методам, таким как зеркалирование дисков, которые широко применяются для защиты важных данных [1]. Использование зеркалирования позволяет создать дублированные копии данных на нескольких носителях, что делает возможным доступ к информации даже в случае сбоя одного из дисков (рисунок 1).

Резервирование минимизирует риск потери критически важной информации и обеспечивает непрерывность бизнеса, что является неотъемлемой частью современных корпоративных стратегий.

В дополнительных аспектах можно рассматривать интеграцию резервирования с другими технологиями отказоустойчивости, такими как кластеризация и балансировка нагрузки. Эти технологии позволяют не только дублировать данные, но и значительно улучшить общую производительность системы за счет распределения

нагрузки между несколькими серверами. Это особенно актуально для крупных организаций, где высокая доступность и защита данных являются критическими факторами [2]. Так, надежная инфраструктура требует одновременного применения различных методик обеспечения устойчивости для поддержания стабильной работы, минимизируя риски непредвиденных сбоев в сети.

### 1.2. Модульность

Модульность является одним из ключевых принципов обеспечения надежности и отказоустойчивости в корпоративных цифровых коммуникациях. Она представляет собой подход, основанный на разделении системы на более мелкие, независимые модули или компоненты (рисунок 2). Каждый модуль выполняет определенную функцию и может быть разработан, протестирован и сопровожден независимо от других модулей.

Преимущества модульности в обеспечении надёжности и отказоустойчивости включают:

- *Изоляция отказов.* При использовании модульной архитектуры отказ одного модуля не повлияет на работу остальных модулей, что снижает риск простоя системы в целом. Это особенно важно в корпоративной среде, где непредвиденные сбои могут привести к значительным финансовым или операционным потерям.



Рис. 1. Резервирование данных

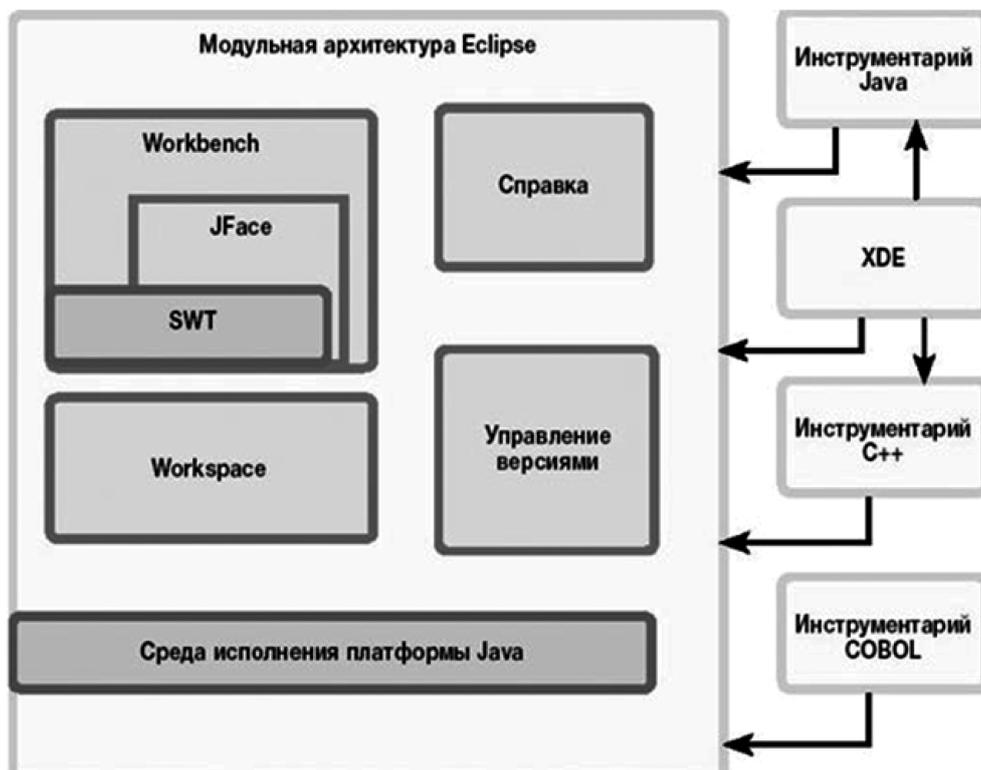


Рис. 2. Модульность

- *Упрощенная разработка и тестирование.* Разделение системы на модули позволяет выполнять разработку и тестирование каждого модуля независимо. Это сокращает время разработки и повышает качество, поскольку изменения в одном модуле не затрагивают другие компоненты системы.
- *Лучшая масштабируемость.* При использовании модульной системы легче масштабировать отдельные модули в зависимости от потребностей бизнеса [3]. Например, если требуется больше мощности для обработки сообщений или увеличения пропускной способности, можно просто добавить дополнительные модули, не затрагивая остальные части системы.
- *Улучшенная производительность.* Модульная архитектура позволяет лучше распределить нагрузку и оптимизировать производительность системы. Путем оптимизации отдельных модулей можно добиться более эффективной работы системы в целом.
- *Улучшенная отказоустойчивость.* Использование модульности основывается на принципе «делай одну вещь, но делай ее хорошо». Это означает, что отказ одного модуля не приведет к полной неработоспособности всей системы. Остальные модули будут продолжать функционировать, обеспечивая непрерывность коммуникаций и минимизируя риски сбоев.

## 2. Технологические решения обеспечения отказоустойчивости

### 2.1. Кластеризация

Кластеризация в контексте обеспечения надежности и отказоустойчивости представляет собой архитектурный подход, в котором несколько серверов или узлов объединяются в группу (кластер) для работы как единое целое (рисунок 3). Этот метод обеспечивает распределение нагрузки, резервирование данных и высокий уровень доступности систем, что критически важно для функционирования современных организаций [4].

Основными аспектами кластеризации являются:

- *Повышение доступности.* В случае сбоя одного из узлов кластера, система автоматически переключает операции на другие узлы, что позволяет избежать простоя. Это особенно важно для критически важных приложений и сервисов, у которых требования по времени безотказной работы крайне высоки.
- *Распределение нагрузки.* Кластеризация позволяет равномерно распределять нагрузку между несколькими серверами, что помогает избежать перегрузки отдельных узлов. Это особенно полезно в условиях пиковых нагрузок, когда количество запросов может значительно увеличиться [5].
- *Отказоустойчивость.* Все узлы в кластере работают над общей задачей и могут принимать

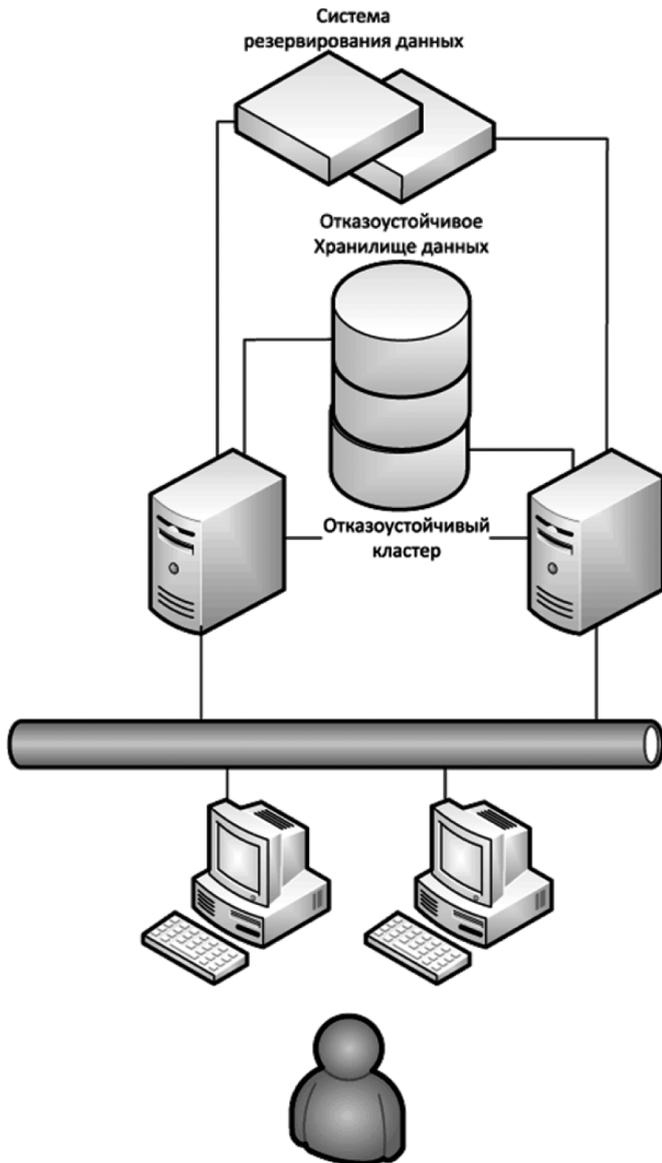


Рис. 3. Кластеризация

на себя функции друг друга. Если один узел выходит из строя, другие могут автоматически выполнять его задачи, сохраняя непрерывность бизнес-процессов.

- *Резервирование и восстановление.* Кластеризация поддерживает резервирование данных, обеспечивая, чтобы каждая информация была доступна на нескольких узлах. Это позволяет быстро восстанавливать данные в случае сбоя или потери информации, минимизируя риски для бизнеса.
- *Масштабируемость.* Кластеры можно легко расширять, добавляя новые узлы по мере необходимости, что позволяет организациям гибко реагировать на изменяющиеся требования бизнеса и увеличивать ресурсы без значительных затрат на перепроектирование системы.

## 2.2. Балансировка нагрузки

Балансировка нагрузки также является важным аспектом при обеспечении надёжности и отказоустойчивости. Данный метод используется для равномерного распределения запросов и данных между несколькими серверами или ресурсами внутри системы, что помогает предотвратить перегрузку инфраструктуры, обеспечить высокую производительность. Балансировка нагрузки происходит путём распределения запросов, которые поступают к системе, между несколькими серверами (рисунок 4). Таким образом, можно избежать перегрузки конкретных серверов.

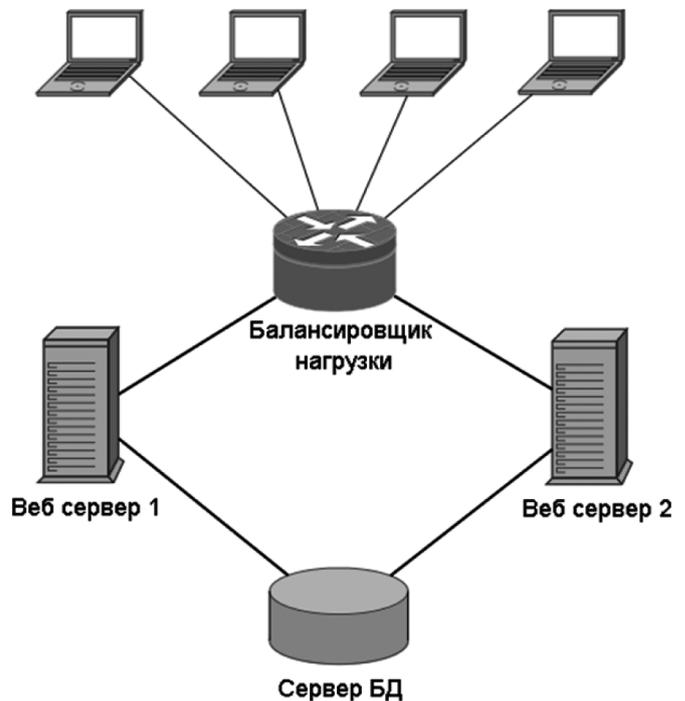


Рис. 4. Балансировка нагрузки

Благодаря качественной балансировке путем распределения рабочей нагрузки между серверами, можно достичь лучшей производительности и эффективности использования ресурсов. Это снижает время отклика системы и обеспечивает более быструю обработку запросов.

Балансировка нагрузки способствует улучшению отказоустойчивости системы. Если один из серверов становится недоступен, другие сервера могут продолжать работу, обеспечивая непрерывность обслуживания и избегая потери доступности данных. Помимо этого, применение балансировки нагрузки можно легко масштабировать инфраструктуру системы добавлением новых серверов. Это дает возможность расширять ресурсы по мере необходимости, обеспечивая гибкое и эластичное управление нагрузкой.

### 3. Процессы и процедуры обеспечения надёжности и отказоустойчивости

#### 3.1. Мониторинг и алертинг

Мониторинг и алертинг играют ключевую роль в обеспечении надёжности, отказоустойчивости и проактивного реагирования на проблемы в корпоративных цифровых коммуникациях [6]. Эти процессы обеспечивают постоянное наблюдение за работой системы, быстрое обнаружение отклонений от нормы и оперативное информирование персонала об инцидентах, что позволяет минимизировать простои и обеспечить непрерывность бизнес-процессов.

Мониторинг постоянно отслеживает состояние системы, включая работу серверов, сетевое соединение, использование ресурсов и другие параметры. Это позволяет оперативно реагировать на любые аномалии или сбои. Также мониторинг позволяет выявлять отклонения от нормы в работе системы или сервисов. Алерты срабатывают при возникновении проблем, что позволяет оперативно принимать меры по их устранению (рисунок 5).

Анализ данных мониторинга позволяет выявить тренды и рисковые моменты, что помогает предпринимать меры по предотвращению возможных проблем и улучшению общей надёжности системы. Благодаря этим же данным можно выявлять узкие места, перегрузки ресурсов и другие факторы, влияющие на производи-

тельность, что помогает провести оптимизацию работы системы и обеспечить более эффективное использование ресурсов.

#### 3.2. Планирование восстановления после сбоев

Планирование восстановления после сбоев (Disaster Recovery Planning, DRP) представляет собой важный элемент управления рисками и обеспечением надёжности в корпоративных цифровых коммуникациях. Это процесс, включающий в себя создание стратегий и мер для восстановления и продолжения функционирования критически важных систем и сервисов после возникновения катастрофических событий или сбоев.

В первую очередь, в разработка плана включает в себя анализ потенциальных угроз, которые могут повлиять на работу организации. Далее проводится идентификация и приоритизация ключевых систем, приложений и данных, необходимых для поддержания жизнедеятельности организации. Это позволяет сосредоточить основные усилия на восстановлении именно тех ресурсов и данных, которые имеют наибольшее значение для бизнеса [7].

После идёт создание чётких планов и процедур восстановления для различных сценариев сбоев. Это может включать в себя резервное копирование данных, использование дублирующих серверов, облачных решений, восстановление на альтернативных площадках.

Также немаловажным пунктом является разработка детализированных инструкций для сотрудников, опи-

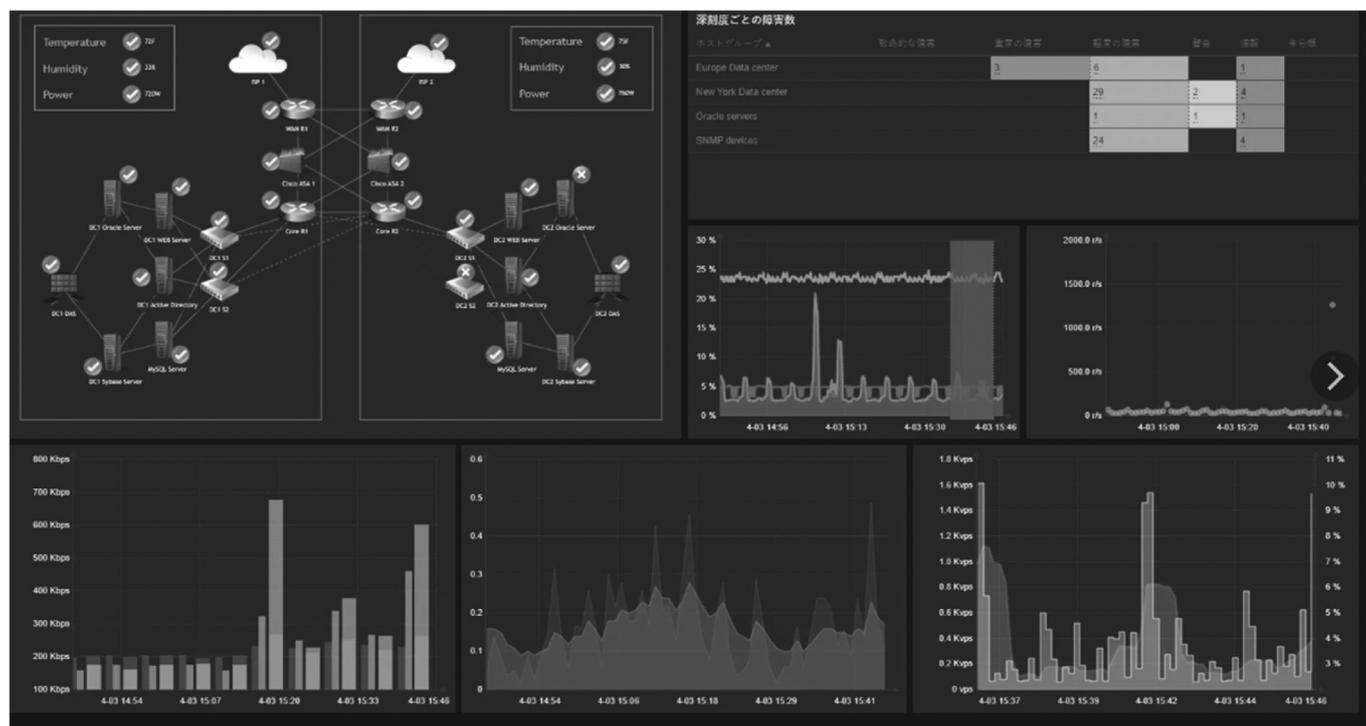


Рис. 5. Система мониторинга Zabbix

сывающих порядок действий при возникновении сбоя. Данные инструкции включают в себя контактные данные ответственных лиц, пошаговые процедуры восстановления и списки необходимых ресурсов.

### Заключение

Обеспечение надежности и отказоустойчивости в корпоративных цифровых коммуникациях — это мно-

гогранный процесс, требующий интеграции различных архитектурных, технологических и процессуальных решений. Эффективная реализация этих мер не только минимизирует риски простоя, но и создает предпосылки для устойчивого роста и развития бизнеса в условиях цифровой трансформации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ponomareva L.A., Romashkova O.N. Training of specialists in on-board communication systems. // В сборнике: 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2020. С. 9078594.
2. Кривоносова А.Д. Коммуникации в условиях цифровой трансформации: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 29–30 ноября 2022 г. — СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2022.
3. Захаров Я.В., Федин Ф.О., Ромашкова О.Н. Разработка требований к автоматизированной системе оценивания результатов инновационной деятельности образовательной организации // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 6. С. 96–101.
4. Ермакова Т.Н., Ромашкова О.Н. Математическая модель оценки финансовых показателей средней общеобразовательной организации // В книге: Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Российский университет дружбы народов. 2016. С. 93–95.
5. 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.
6. Пономарева Л.А., Ромашкова О.Н., Белякова А.Н., Заболотникова В.С. Автоматизация процесса многокритериального ранжирования студентов с помощью электронного портфолио. // Вестник Донского государственного технического университета. 2019. Т. 19. № 4. С. 382–388.
7. Gudkova I.A., Romashkova O.N., Samoylev V.E. Determination of the range of the guaranteed radio communication in wireless telecommunication networks of IEEE 802.11 standard with the use of ping program // В сборнике: CEUR Workshop Proceedings. 8. Сер. «ITMM 2018 — Proceedings of the Selected Papers of the 8th International Conference «Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems» 2018. С. 54–59.

© Воронин Владимир Алексеевич (mgvoron@gmail.com); Ромашкова Оксана Николаевна (ox-rom@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И ПЛАТФОРМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБРАЗОВАНИИ

## ANALYSIS OF MODERN TOOLS AND PLATFORMS FOR ADMINISTRATIVE DECISION-MAKING IN EDUCATION

Ya. Zakharov  
O. Romashkova

*Summary.* Modern tools and platforms for supporting administrative decision-making in an educational organization are analyzed. The main advantages and disadvantages of using decision-making automation tools in educational processes are considered. Based on the analysis, the classification of an educational organization according to the level of maturity in terms of automation of processes and the use of technologies for data collection and analysis is proposed. Conclusions have been drawn about the need to use maturity level classification, automation tools for data collection, decision-making, and strategic planning.

*Keywords:* administrative decision-making, automation of educational processes, educational organization.

**Захаров Ярослав Вячеславович**

Аспирант, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет»  
zakhayaross@mail.ru

**Ромашкова Оксана Николаевна**

Доктор технических наук, профессор, профессор,  
Российская академия народного хозяйства  
и государственной службы  
при Президенте РФ» г. Москва  
ox-rom@yandex.ru

*Аннотация.* Проанализированы современные инструменты и платформы поддержки принятия управленческих решений в образовательной организации. Рассмотрены основные преимущества и недостатки использования инструментов автоматизации принятия решений в образовательных процессах. На основе анализа предложена классификация образовательной организации по уровню зрелости с точки зрения автоматизации процессов и использования технологий по сбору и анализу данных. Сформированы выводы о необходимости использования классификации уровня зрелости, инструментов автоматизации сбора данных, принятия решений, а также стратегического планирования.

*Ключевые слова:* поддержка принятия управленческих решений, автоматизация образовательных процессов, образовательная организация.

### Введение

Поддержка принятия управленческих решений играет ключевую роль в современном образовании, предоставляя руководителям инструменты для анализа данных, моделирования сценариев и принятия обоснованных решений. Современные системы принятия решений эволюционировали с учетом технологических достижений и изменяющихся потребностей образования [1].

Инструменты и платформы принятия решений помогают образовательным организациям не только собирать и анализировать информацию, но и превращать ее в полезные данные для стратегического принятия решений. Выбор конкретного решения зависит от специфических потребностей образовательной организации, объема данных и других факторов.

В образовательных организациях поддержка принятия управленческих решений может существенно улучшить процессы управления, планирования и обучения [2]. Современные инструменты и платформы принятия решений помогают образовательным учреждениям оп-

тимизировать административные задачи, анализировать академическую успеваемость и повышать качество образования.

### Анализ инструментов и платформ поддержки принятия решений в образовательной организации и их классификация

Инструменты принятия управленческих решений в образовании можно классифицировать следующим образом:

- Инструменты для сбора и аналитики успеваемости студентов:
  - Tableau. Инструмент может использоваться для визуализации и анализа данных об успеваемости студентов, что позволяет администраторам и преподавателям быстро выявлять тенденции и определять области, требующие улучшения.
  - Power BI. Платформа аналитики, предоставляющая инструменты для агрегации, анализа и визуализации данных. Позволяет образовательным организациям анализировать данные об успеваемости и ресурсах в режиме реального времени.

- Google Data Studio. Инструмент для создания отчетов и визуальной аналитики. В образовании может быть применен для создания отчетов об успеваемости студентов.
2. Инструменты для управления учебными процессами:
- Moodle. Платформа для создания онлайн-курсов и управления обучением. В образовательных организациях активно используется в целях организации учебного процесса, администрирования курсов и взаимодействия со студентами.
  - Canvas. Система управления обучением на основе облачных технологий. Используется образовательными организациями так как технически гибкая и предоставляет широкие возможности по интеграции с другими инструментами принятия управленческих решений. Основной функционал, применительно к образовательным организациям, это создание курсов, управления заданиями и взаимодействие студентов и преподавателей.
  - Blackboard. Популярная платформа для управления обучением, используемая в университетах и колледжах по всему миру. Предоставляет инструменты по созданию курсов, управлению обучением и взаимодействию студентов и преподавателей в онлайн-среде.
  - Edmodo. Платформа для социального обучения, которая соединяет учителей, студентов и родителей. Используется для обмена ресурсами, управления заданиями и общения в образовательной среде.
3. Инструменты для прогнозирования и планирования ресурсов:
- Oracle PeopleSoft. Инструмент для управления различными аспектами деятельности образовательных учреждений. Используется для управления финансами, человеческими ресурсами и жизненным циклом студентов.
  - SAP Student Lifecycle Management. Инструмент для управления жизненным циклом студента. Помогает автоматизировать процессы от приема до выпуска студентов.
  - Microsoft Dynamics 365. Управление образовательными процессами. Используется для управления взаимодействием с абитуриентами и студентами, а также для оптимизации административных процессов.
4. Инструменты анализа данных для улучшения качества образования:
- SAS Analytics for Education. Платформа аналитики данных для анализа образовательных данных. Используется для анализа больших объемов данных с целью улучшения качества образования.
- IBM SPSS Statistics. Программное обеспечение для статистического анализа данных. Применяется для проведения сложных статистических анализов в образовательных исследованиях.
5. Инструменты поддержки принятия управленческих решений в образовательных организациях:
- Google Workspace for Education. Облачный инструмент для совместной работы в образовательной среде. Предлагает совместную работу студентов и преподавателей в реальном времени через инструменты Google.
  - Microsoft Teams for Education. Используется для проведения онлайн-уроков, взаимодействия студентов и преподавателей, а также совместной работы в образовательных учреждениях.
6. Инструменты для оценки удовлетворенности:
- SurveyMonkey. Онлайн-платформа для создания опросов и анкетирования. Используется для сбора обратной связи от студентов, преподавателей и родителей.
  - Google Forms. Формы для создания опросов. Позволяет легко собирать данные об удовлетворенности участников образовательного процесса.
- Все вышеперечисленные инструменты помогают образовательным организациям эффективно управлять процессами, анализировать данные и принимать обоснованные решения для улучшения качества образования [3]. Визуализация предложенной классификации представлена на рисунке 1.
- Использование инструментов принятия управленческих решений в образовательных организациях может существенно улучшить качество управления и обучения, но требует взвешенного подхода к выбору и внедрению подходящих инструментов с учетом всех возможных рисков и затрат. Рассмотрим преимущества и недостатки использования таких инструментов на практике.
- Из основных преимуществ использования инструментов принятия решений можно выделить:
- Улучшение качества образования. Анализ данных позволяет своевременно выявлять слабые места в учебном процессе и разрабатывать стратегии их устранения. Помимо этого, инструменты позволяют персонализировать обучение за счет анализа успеваемости и поведения студентов.
  - Эффективное управление ресурсами. Инструменты позволяют оптимизировать использование ресурсов (финансовых, человеческих, материальных), а также позволяют прогнозировать потребности, что позволяет эффективнее планировать будущие расходы и инвестиции.
  - Повышение вовлеченности студентов и преподавателей. Интерактивные платформы и обратная

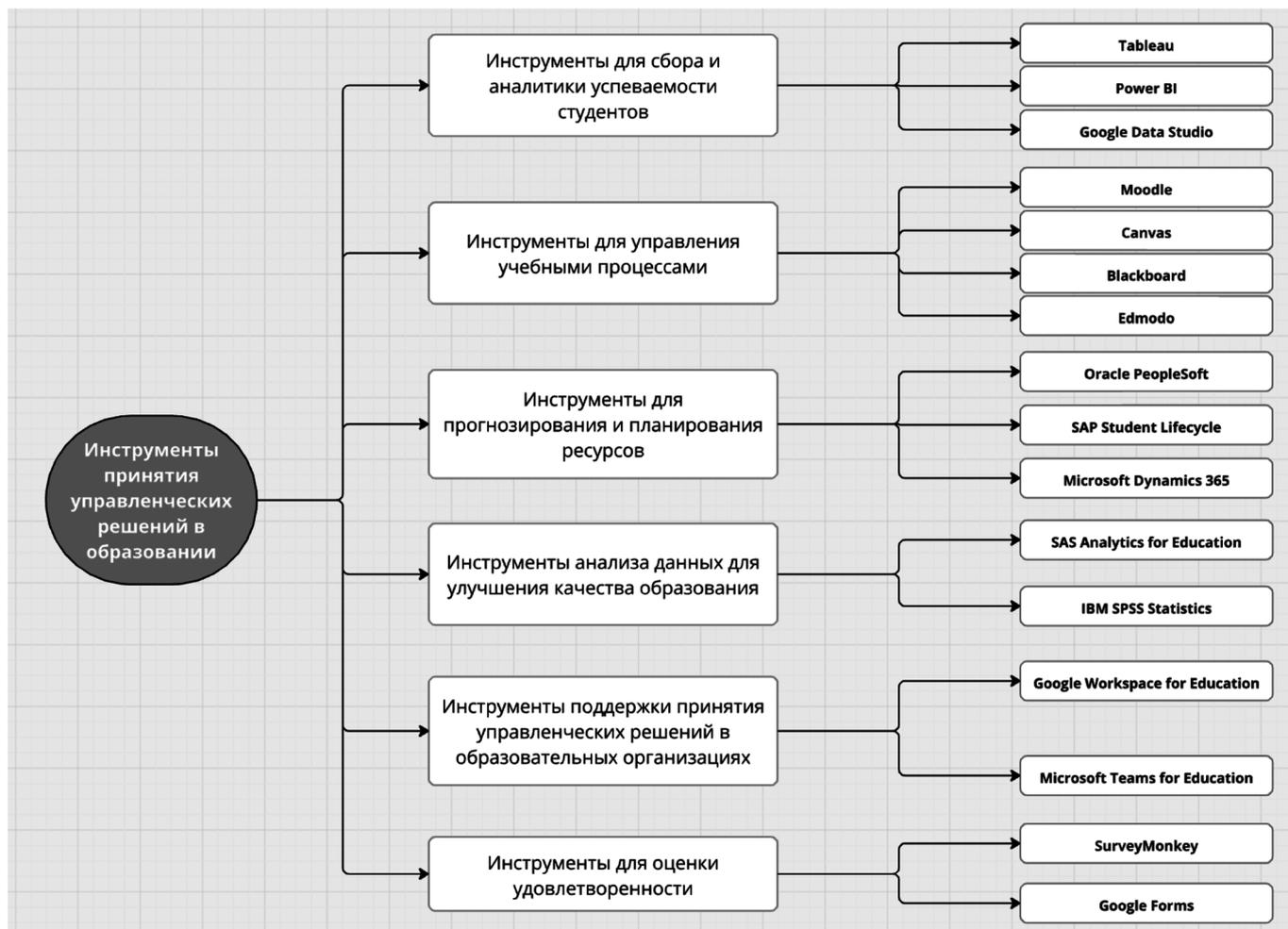


Рис. 1. Классификация инструментов принятия управленческих решений в образовании

связь в реальном времени способствуют более активному участию студентов в учебном процессе и помогают быстро реагировать на запросы и проблемы учащихся [4].

- Улучшение административных процессов путем централизации данных и автоматизации рутинных задач (учет посещаемости, ведение расписания и др.).

К недостаткам использования инструментов принятия решений можно отнести:

- Высокие затраты на внедрение. Стоимость программного обеспечения и лицензий может быть значительной, особенно при попытке их внедрения в крупные образовательные организации. Помимо этого, инвестиции в обучение персонала для эффективного использования внедренных инструментов также может быть значительной статьей расходов.
- Сложность интеграции. Интеграция с существующими системами представляется сложной и трудоемкой. Основным барьером при попытках внедрения инструментов является их несовместимость

с уже используемыми системами автоматизации образовательных процессов.

- Сложности с конфиденциальностью, безопасностью и соблюдением требований. При использовании автоматизированных инструментов принятия решения возникают соответствующие риски утечки данных студентов и преподавателей, особенно при использовании облачных решений. Помимо этого, использование инструментов, обеспечивающих значительный уровень автоматизации накладывает требования соблюдения норм и законов о защите персональных данных, таких как GDPR (если образовательная организация попадает под требования о защите данных, принятых за рубежом), ФЗ-152, ФЗ-160, приказы Роскомнадзора №94, 159, 274 и других регуляторных требований.
- Зависимость от технологий. Появляется необходимость в отладке процессов по управлению непрерывностью работоспособностью образовательной организации, так как возникает потребность в адресации рисков, связанных с техническими сбоями и необходимостью постоянного обновления и поддержки автоматизированных систем.

- Сопротивление изменениям. Автоматизация процессов, как правило, приводит к необходимости изменений организационной культуры, так как можно наблюдать тренд в сопротивлении студентов и преподавателей новым технологиям и методам работы в пользу годами отлаженных путей взаимодействия и обучения.

#### Классификация образовательной организации по уровню зрелости в зависимости от степени автоматизации процессов поддержки принятия решений

В целях эффективного управления образовательной организацией необходимо точно оценить уровень зависимости от инструментов принятия решений своей образовательной организации относительно конкурентных учреждений, сформировать планы развития в краткосрочной и долгосрочной перспективе, оценить бюджеты и привлечь инвестиции, а также вовремя адаптироваться к изменениям [5]. Сравнение уровня технологической зрелости поможет образовательной организации выявить лучшие практики и ориентиры развития.

На основании результатов по итогам проведения анализа инструментов и платформ поддержки принятия решений предлагается классификация образовательных организаций на рисунке 2. Предлагаемая классификация сформирована с целью объективной оценки образовательной организации и отнесению ее к соответствующему уровню зрелости.

Каждый уровень в классификации отражает определенную степень зрелости образовательной организации в использовании инструментов автоматизации и различных технологий сбора и обработки информации. Далее разберем каждый из предложенных уровней зрелости:

##### 1. Начальный уровень зрелости.

Образовательная организация только начинает внедрять инструменты поддержки принятия решений и начинает осознавать важность их использования. Используются базовые аналитические программы, такие как Excel или платформы для анализа данных успеваемости студентов («электронные дневники»). Такие образовательные организации характеризуются минимальной автоматизацией процессов и ограниченным использованием данных.

Признаками начального уровня зрелости здесь могут являться:

- Отсутствие систематического сбора данных для каких-либо целей;
- Основаниями для принятия решений являются лишь опыт и интуиция руководящего состава;

##### 2. Базовый уровень зрелости (основной).

Образовательная организация начала внедрять базовые инструменты автоматизации и их для решения отдельных задач, однако их использование ограничено. Используются простые аналитические решения для обработки данных и формирования статистических отчетов. Признаками базового уровня зрелости являются:

- Инструменты сбора данных используются, собирается отдельная статистика в целях формирования отчетов руководству;
- Принятие решений основывается на отчетах и собранной статистике.

##### 3. Средний уровень зрелости (продвинутой).

Образовательная организация активно использует поддержку принятия решений и автоматизированные решения, а также интегрирует их в повседневную практику [6]. Такие образовательные организации характеризуются использованием продвинутых систем управления обучением (системы LMS), а также системы автоматизации управления взаимоотношениями участников образовательного процесса (CRM системы), либо использованием подобных систем. Признаки продвинутого уровня:

- Регулярный анализ данных и их использование в целях улучшения образовательных программ и административных процессов;
- Внедрение и использование LMS и CRM систем;
- Принятие решений основывается на аналитических отчетах и структурированных данных.

##### 4. Интегрированный уровень зрелости.

Инструменты поддержки принятия решений интегрированы во все ключевые процессы образовательной организации и поддерживают как образовательные процессы, так и процессы управления. Используются такие продвинутые инструменты как системы прогнозной аналитики, адаптивные обучающие платформы. Такие образовательные организации характеризуются следующими параметрами:

- Активное использование продвинутых аналитических инструментов для стратегического планирования и персонализации обучения;
- Аналитика основана на интеграции данных из множества источников. Принятие решений во многих аспектах автоматизировано.

##### 5. Инновационный уровень зрелости (лидерский).

Образовательная организация использует передовые технологии в целях принятия решений, внедряет новейшие технологии и инновационные подходы. Такие организации используют инновационные модели под-



Рис. 2. Классификация образовательной организации по уровню зрелости

держки на основе искусственного интеллекта и анализа больших данных, в том числе в целях персонализации обучения и оптимизации процессов. Характеристики инновационного уровня зрелости:

- Внедрение адаптивных образовательных технологий и интеллектуальных систем поддержки принятия решений;
- Принятие решений основывается на результатах глубокого анализа данных и прогнозирования.

Отнесение образовательного учреждения к соответствующему уровню зрелости позволит организации четко определить необходимые шаги и ресурсы, а также более предметно решать вопросы стратегического планирования по вопросам совершенствования качества предоставляемого образования [7]. Классификация также помогает образовательным организациям четко поставить цели и задачи для перехода на следующий уровень зрелости, так как переход от одного уровня зрелости к другому, как правило, требует много ресур-

сов и времени, особенно в условиях неопределенности и изменчивости рынка образовательных услуг в современном мире.

### Заключение

Таким образом, использование современных инструментов и платформ поддержки принятия управленческих решений в образовании приносит значительные преимущества, но также требует тщательного учета соответствующих вызовов. В целом, современные инструменты принятия решений в образовании представляют собой мощный ресурс для улучшения управления и обучения, но требуют стратегического подхода к их внедрению и эксплуатации. Успех зависит от правильного и объективного отнесения образовательной организации к соответствующему уровню зрелости, выбора технологий, их адаптации к специфическим нуждам учреждения и готовности всех участников образовательного процесса к изменениям.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Каптерев А.И. Применение иммерсивных технологий в высшем образовании // Шамовские чтения: Сборник статей XVI Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Москва, 25 января — 03 февраля 2024 года. — Москва: Научная школа управления образовательными системами, 2024. — С. 536–540.
2. 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.
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, ITTMM 2019» 2019. С. 92–101.
4. Павличева Е.Н., Ромашкова О.Н. Информационные процессы поддержки принятия решений в многоуровневых образовательных системах / Москва, 2022.
5. Захаров Я.В., Федин Ф.О., Ромашкова О.Н. Разработка требований к автоматизированной системе оценивания результатов инновационной деятельности образовательной организации // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 6. С. 96–101.
6. Пономарева Л.А. Информатизация процесса преподавания высшей математики для гуманитарных специальностей в московском городском педагогическом университете. // Информатизация образования и науки. 2014. № 4 (24). С. 32–42.
7. 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.

© Захаров Ярослав Вячеславович (zakhayaross@mail.ru); Ромашкова Оксана Николаевна (ox-rom@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

### INVESTIGATION OF THE OPTIMALITY OF THE HOUSING STOCK ACCOUNTING SYSTEM

A. Ilyushin  
O. Litvinskaya

*Summary.* The purpose of the work is to study the optimality of the university's housing stock accounting system. The queuing theory was used for the study, in particular the M/M/1 type model. The GPSS modeling language was used to generate the research results. The study revealed an initial overload of the system, with unacceptable time parameters of maintenance. Automation of the housing stock accounting system has led to different time parameters of the system. The development of a cross-platform application for student accounting in the dormitory has shown significant advantages and increased the efficiency of data management.

*Keywords:* housing stock, queuing systems, cross-platform application.

**Илюшин Андрей Олегович**

Ассистент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства  
oslit@yandex.ru

**Литвинская Ольга Сергеевна**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
ilyushinandy@yandex.ru

*Аннотация.* Целью работы является исследование оптимальности системы учета жилищного фонда университета. Для исследования использовалась теория массового обслуживания, в частности модель типа M/M/1. Для формирования результатов исследования использовался язык моделирования GPSS. В ходе исследования выявлен первоначальный перегруз системы, с недопустимыми временными параметрами обслуживания. Автоматизация работы системы учета жилищного фонда привела к иным временным параметрам системы. Разработка кроссплатформенного приложения для учета студентов в общежитии показала значительные преимущества и повысила эффективность управления данными.

*Ключевые слова:* жилищный фонд, системы массового обслуживания, кроссплатформенное приложение.

С ростом числа обучающихся в вузах возрастает потребность в эффективных системах учета, чтобы управлять размещением и обеспечивать комфортные условия проживания. Современные вызовы, такие как обеспечение безопасности и контроль доступа, требуют надежных систем учета для предотвращения несанкционированного входа. Эффективная система учета позволяет соблюдать нормативы и отчетности, связанные с учетом и управлением жильем, более рационально распределять ресурсы, такие как коммунальные услуги, услуги уборки и безопасности. Улучшение управления общежитиями способствует повышению качества жизни студентов, что влияет на их учебный процесс и общее удовлетворение. Подобными факторами обуславливается актуальность исследования системы учета проживающих в общежитии вуза.

Цель работы — исследовать систему учета жилищного фонда вуза. Объектом исследования является система учета проживающих в общежитиях ПГУАС. Предметом исследования является оптимальность существующей системы учета, возможность оперативного получения актуальных сведений по объектам жилищного фонда посредством кроссплатформенного приложения.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- оптимизация процесса заселения в общежития;
- снижение трудозатрат на заселение в общежития;
- оперативное получение актуальных сведений об обучающихся;
- предоставление проживающему сервиса контроля взаиморасчетов;
- гибкая настройка доступа к объектам размещения.

В процессе исследования использовались следующие методы:

1. Опросы. Были проведены опросы среди коменданта и представителей профкома для выявления текущих методов и проблем, связанных с учетом студентов.
2. Анализ данных. Анализ существующих форм представления данных о проживающих студентах позволил определить основные требования к функционалу приложения.
3. Моделирование процессов. Модель системы массового обслуживания представляет работу следующих составляющих: службы регистрации студентов при заселении и выселении, поступление клиентов, т.е. студентов в течении всего календарного года, наличие очередей по обслуживанию, состояние системы. Выявленные в ходе опросов процессы обмена и обработки информации, по-

зволило определить оптимальную архитектуру приложения.

Исследование работы системы учета жилищного фонда выполнялось с помощью теории массового обслуживания. Работу заведующей общежитием можно рассмотреть как систему массового обслуживания (СМО) типа М/М/1. Эта модель применима, когда в системе существует один обслуживающий прибор, а поступление заявок и их обработка подчиняются экспоненциальным законам распределения. В качестве заявок выступает поток студентов, нуждающихся в учете или обслуживании.

В настоящее время интенсивность поступления заявок  $\lambda = 5$  студентов в час, а интенсивность обслуживания  $\mu = 4$  студента в час, что соответствует среднему времени обслуживания одного студента в 15 минут. Параметрами СМО являются:

1. Коэффициент загрузки ( $\rho$ ) определяется выражением

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{5}{4} = 1,25.$$

Коэффициент загрузки  $\rho > 1$ , что указывает на перегрузку системы, так как количество заявок превышает способность системы их обслуживать.

2. Среднее количество студентов в очереди ( $L_q$ ). Поскольку  $\rho > 1$ , расчет средней длины очереди теряет физический смысл, что на практике означает бесконечно растущую очередь.
3. Среднее количество студентов в системе ( $L$ ) определяется зависимостью

$$L = \frac{\rho}{1 - \rho}.$$

Этот показатель также не может быть рассчитан при  $\rho > 1$ , что означает перегрузку системы и невозможность нормального функционирования.

4. Среднее время ожидания в очереди ( $W_q$ ) определяется

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)}.$$

Поскольку  $\rho > 1$ , результат выходит за пределы реальных значений, что говорит о слишком долгом ожидании.

5. Среднее время пребывания студента в системе ( $W$ ) выражается

$$W_q = \frac{1}{\mu(1 - \rho)}.$$

Здесь также результат невозможно корректно рассчитать при перегруженной системе.

Таким образом, при времени обслуживания до 15 минут система перегружается. Это приводит к слишком длинным очередям и чрезмерному времени ожидания, что делает обслуживание студентов неэффективным без изменения параметров системы.

В ходе проведения анализа было выявлено, что процессы поиска и обновления информации о студентах в общежитии часто связаны с значительными временными затратами и неудобствами. Необходимость ручного поиска нужного студента и переноса информации на компьютер при проведении проверок в комнатах, а также отсутствие мобильного доступа к актуальным данным о студентах создают неэффективность в управлении жилым фондом общежития. Для устранения недостатков и оптимизации существующей системы учета целесообразным является разработка автоматизированной системы учета жилищного фонда вуза в виде мобильного, кроссплатформенного приложения.

Разработка мобильного приложения, обеспечивающего доступ к актуальным данным о студентах на мобильных устройствах в реальном времени, а также разработка десктопной версии приложения для удобного редактирования и обновления информации на компьютере позволит значительно сократить временные затраты на выполнение рутинных операций и повысить эффективность управления общежитием [1, 2].

Кроссплатформенное приложение позволит расширить аудиторию пользователей за счет обеспечения доступности на платформе Android, iOS и Windows. Такое приложение обеспечит удобство использования на различных устройствах, сохраняя при этом функциональность и простоту интерфейса. Кроме того, возможность работы с файлами Microsoft Excel позволит пользователям легко обмениваться данными и интегрировать приложение в уже существующие рабочие процессы.

Кроссплатформенное решение не только обеспечивает быстрый доступ к данным о студентах в общежитии через мобильное приложение, но также предоставляет удобный инструмент для редактирования и обновления информации. Возможность использовать десктопную версию приложения дает пользователям гибкость выбора: они могут обновлять данные и проводить анализ информации на компьютере, что может быть более удобным при работе с большими объемами данных или при необходимости проведения сложных операций. Таким образом, кроссплатформенное приложение обеспечивает эффективное взаимодействие пользователей с данными независимо от выбранного устройства, повышая удобство и эффективность работы.

Для реализации данного проекта выбрана современная кроссплатформенная технология .NET MAUI (Multi-

platform App UI) от Microsoft, предназначенная для разработки мобильных, настольных и веб-приложений [3,4].

Обоснование использования .NET MAUI для данного проекта заключается в его кроссплатформенности, богатой экосистеме .NET, использовании языка C#, единой кодовой базе и гибком пользовательском интерфейсе. Это позволит создать мобильное приложение для учета студентов в общежитии, которое будет работать на различных устройствах и операционных системах, обеспечивая высокое качество и производительность.

Для реализации приложения были использованы кроссплатформенный фреймворк .NET MAUI, среда разработки Microsoft Visual Studio, язык программирования C#, СУБД SQLite и облачная платформа Clever Cloud.

В приложении есть десять основных модулей: «Вход в приложение и главное меню», «Комнаты», «Добавить студента», «Комната», «Студент», «Поиск», «Управление данными», «Статистика», «Настройки» и «Настройки пользователя».

На рисунке 1 приведена диаграмма вариантов использования системы в целом, раскрывающая, какие взаимодействия и типы пользователей предусмотрены в приложении.

Приложение значительно упростит работу коменданта и профкома, обеспечивая доступ к информации о студентах не только за компьютером, но и на мобильных устройствах. Это позволило исключить необходимость ведения рукописных записей и обеспечило удобный доступ к данным в любое время.

Применение разработанного приложения для учета студентов в общежитии университета демонстрирует его практическую значимость. Приложение позволяет автоматизировать процессы учета, сократить время на поиск и обработку информации, а также повысить точность и актуальность данных.

Результаты исследования по оптимизации системы учета жилищного фонда представлены в таблице.

Из таблицы видно, что, применяя приложение, сократилась значительная часть операций. На такие процессы как поиск, обновление и формирование отчетности значительно уменьшилось время реализации.

Перспективы дальнейшего развития включают улучшение работы приложения и добавление нового функционала на основе обратной связи от пользователей. В частности, возможны следующие направления для развития:

- интеграция с другими системами вуза, например, интеграция с базой учебной части и приемной комиссии, позволяющая исключить дублирование ввода информации о заселяемом студенте;
- разработка дополнительных модулей для формирования отчетности системы учета по требованию;
- внедрение новых методов защиты данных и повышения безопасности приложения.

После автоматизации системы со средним временем обслуживания 8 минут, расчёты для системы с параметрами М/М/1 дают следующие результаты:

- коэффициент загрузки  $\rho=0.67$  или 66.67 %;

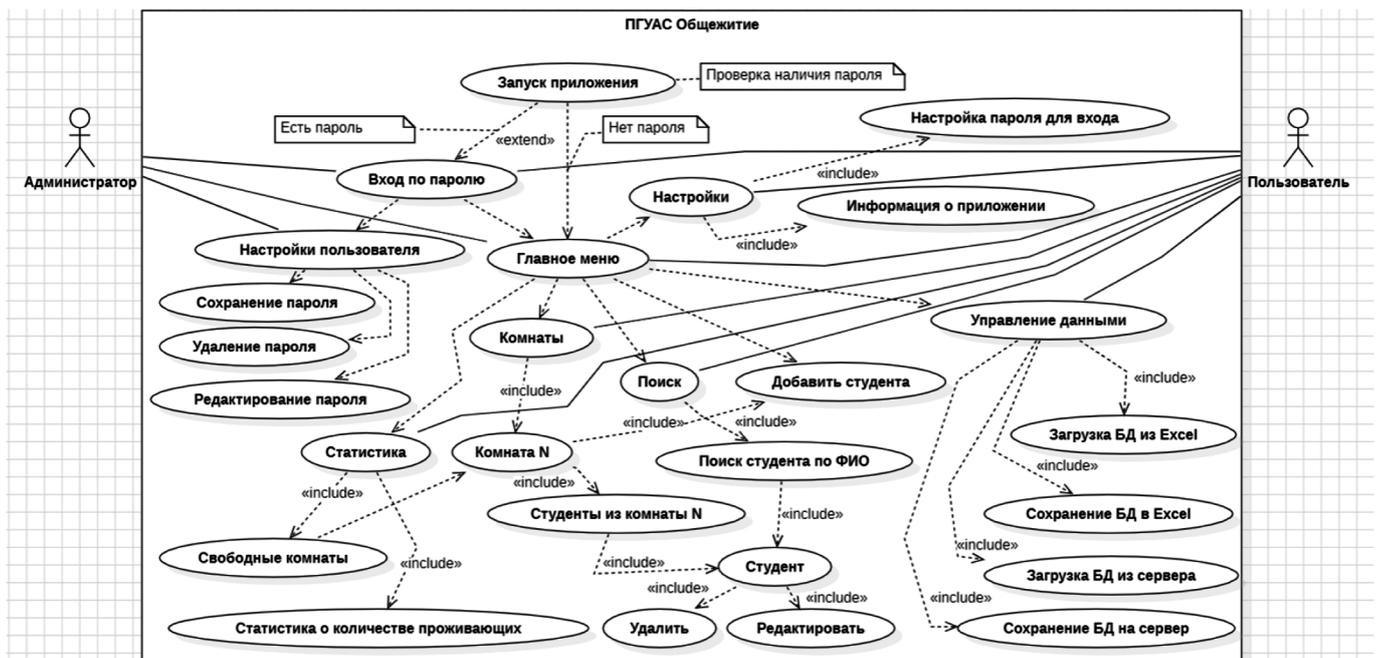


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

Таблица 1.  
Сравнение различных форм использования системы учета

Процессы системы учета жилищного фонда	До автоматизации	После автоматизации
Прием заявления на заселение студента	+	+
Прием документов на заселение	+	+
Ввод данных	+	+
Обмен данными коменданта и профкома	+	-
Заполнение журнала комнат комендантом	+	-
Сбор копий документов комендантом	+	-
Поиск свободных мест	+	-
Сбор комендантом контактных данных о родителях	+	-
Поиск информации о проживающих студентах в комнате	t	$t_{min}$
Формирование статистики по количеству проживающих, свободных местах	t	$t_{min}$
Редактирование данных о заселенных студентах	t	$t_{min}$
Добавление новых студентов	t	$t_{min}$

- среднее количество студентов в очереди  $L_q=1.33$  студента;
- среднее количество студентов в системе  $L=2$  студента;
- среднее время ожидания в очереди  $W_q=6$  минут
- общее среднее время пребывания студента в системе  $W=8$  минут.

Это указывает на значительное улучшение по сравнению с предыдущими расчётами, так как время ожидания и пребывания в системе сократилось, что свидетельствует о повышении эффективности системы после автоматизации.

Таким образом, проведенное исследование и разработка кроссплатформенного приложения для учета студентов в общежитии показали значительные преимущества в автоматизации процессов и повысили эффективность управления данными. Оптимизирован ввод информации по проживающим, ведется учет загруженности номерного фонда общежития университета в разрезе комнат и проживающих.

Решение поставленных задач позволило оптимизировать цикл бизнес-процессов, связанных с учетом проживающих. В разы сократилось время обработки входной информации и подготовки выходных форм в различных аналитических разрезах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Учебный ресурс «Сборка мобильных и классических приложений с .NET MAUI» [Электронный ресурс] URL: [https://learn.microsoft.com/ru-ru/training/paths/build-apps-with-dotnet-maui/?WT.mc\\_id=friends-0000-jamont/](https://learn.microsoft.com/ru-ru/training/paths/build-apps-with-dotnet-maui/?WT.mc_id=friends-0000-jamont/) (дата обращения 02.04.2024).
2. Документация по пользовательскому интерфейсу кроссплатформенного приложения .NET [Электронный ресурс] URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/maui/what-is-maui?view=net-maui-8.0/> (дата обращения 05.04.2024).
3. Документация по набор средств сообщества .NET Multi-platform App UI (.NET MAUI). [Электронный ресурс] URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/communitytoolkit/maui/> (дата обращения: 10.04.2024).
4. Руководство по программированию на .NET MAUI и C# [Электронный ресурс] URL: <https://metanit.com/sharp/maui/1.1.php> (дата обращения 15.04.2024).

© Илюшин Андрей Олегович (oslit@yandex.ru); Литвинская Ольга Сергеевна (ilyushinandy@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНИМЫХ В СИСТЕМЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ О ПРОВЕДЕНИИ КОСМЕТИЧЕСКОГО РЕМОНТА ЗДАНИЯ

## ANALYSIS OF TECHNOLOGIES APPLICABLE IN THE DECISION-MAKING SYSTEM FOR CARRYING OUT COSMETIC REPAIRS OF A BUILDING

V. Kachalin  
A. Kalugin

*Summary.* In the modern world, there is a trend towards digitalization and automation of various spheres of human life. This development orientation makes it possible to facilitate both daily life and professional activities of a person. As part of decision-making, the introduction of appropriate technologies allows to give preference to the most relevant option based on the existing characteristics, conditions and limitations of a particular situation with minimal human involvement. However, this trend has not affected the field of cosmetic repairs of buildings. Although at the same time, this approach is able to reduce time and financial costs at the earliest stage of repair work or avoid them altogether. The purpose of this work is an analytical review of scientific research conducted in the world, the results of which can potentially be used to create an intelligent decision-making system for carrying out cosmetic repairs of a building. The article itself contains a list and a brief overview of dissertations for the degree of Candidate of Sciences, as well as scientific articles by Russian and foreign authors corresponding to the subject of this work. The analysis of scientific papers indicates the existing interest of scientists in the problem of finding technologies to improve the preliminary preparation for the cosmetic repairs of the building. From a practical point of view, the conducted analytical review of scientific works can be used as a starting point for rethinking the results of the scientific research discussed in this article from the point of view of their application in the design of an intelligent decision-making system for carrying out cosmetic repairs of a building.

*Keywords:* decision-making system, repair, technology, scientific research, analytical review, building.

**Качалин Василий Сергеевич**

ведущий программист, аспирант,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)»  
vasiliy.kachalin@gmail.com

**Калугин Алексей Владимирович**

старший преподаватель,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)»

*Аннотация.* В современном мире существует тенденция к цифровизации и автоматизации различных сфер жизни человека. Данная направленность развития позволяет облегчить как повседневную жизнь, так и профессиональную деятельность человека. В рамках принятия решений внедрение соответствующих технологий позволяет отдавать предпочтение наиболее релевантному варианту исходя из имеющихся особенностей, условий и ограничений конкретной ситуации с минимальным вовлечением человека. Однако данная тенденция не затронула область косметических ремонтов зданий. Хотя при этом такой подход способен обеспечить снижение временных и финансовых издержек на самом раннем этапе ремонтных работ или же вовсе избежать их. Целью данной работы является аналитический обзор научных исследований, проведенных в мире, результаты которых потенциально могут быть использованы для создания интеллектуальной системы принятия решения о проведении косметического ремонта здания. В самой статье представлен список и краткий обзор диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а также научных статей отечественных и зарубежных авторов, соответствующих тематике данной работы. Проведенный анализ научных работ свидетельствует о существующем интересе ученых к проблеме поиска технологий для улучшения предварительной подготовки к проведению косметического ремонта здания. С практической точки зрения проведенный аналитический обзор научных работ может быть использован как отправная точка для переосмысления результатов затронутых в данной статье научных исследований с позиции их применения при проектировании интеллектуальной системы принятия решения о проведении косметического ремонта здания.

*Ключевые слова:* система принятия решений, ремонт, технологии, научные исследования, аналитический обзор, здания.

### Введение

Принятие решения о проведении косметического ремонта здания весьма трудоемкий процесс. В нем требуется учитывать различные ресурсы: финансовые, трудовые, временные и др. В идеале максимально точный размер вложений должен быть известен

заранее, что позволит принять релевантное решение о необходимости начала работ по проведению косметического ремонта и его результативности. Также с помощью использования достижений научного сообщества можно снизить влияние сопутствующих расходов на итоговую стоимость проекта по ремонту.

Необходимость в минимизации затрат на этапе принятия решения о проведении косметического ремонта здания и непосредственно обеспечение принятия релевантного решения сталкивается с отсутствием системы принятия решений (СПР) по затрагиваемому вопросу, соответственно исходя из этого *целью данной работы* является проведение аналитического обзора научных исследований, проведенных в мире, результаты которых могут быть использованы в СПР о проведении косметического ремонта здания.

В качестве источников данных для данной статьи были использованы следующие ресурсы: библиографическая и реферативная база данных Scopus, поисковая система среди научных работ Google Scholar, научные электронные библиотеки КиберЛенинка и eLibrary.ru, а также научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat.

Структура данной работы имеет следующий вид: в первом разделе рассмотрены результаты исследований зарубежных авторов, во втором разделе представлены результаты исследований отечественных авторов, в третьем — результаты, отраженные в диссертациях на соискание ученой степени кандидата технических наук отечественных исследователей.

#### Аналитический обзор зарубежных научных исследований

В научной среде рассматривается прогнозирование времени ремонта оборудования. Этот вопрос затрагивала группа ученых *Marwin Züfle, Joachim Agne, Johannes Grohmann, Ibrahim Dörtoluk, Samuel Kounev* в работе «*A Predictive Maintenance Methodology: Predicting the Time-to-Failure of Machines in Industry 4.0*». Авторы предлагают использовать методы машинного обучения на данных, полученных с установленных на оборудовании датчиков для прогнозирования времени до отказа [1]. Такой подход, при некоторой модернизации, может быть примененным при работе со зданиями. Вместе с тем, у него есть большой недостаток — использование датчиков, что может повлечь за собой определенные неудобства при посещении зданий.

Существует работа «*Application of back-propagation artificial neural network to predict maintenance costs and budget for university buildings*», авторы которой, *Chang Sian Li, Pei Jia Chen, Sy Jye Guo*, используют нейронную сеть для анализа данных о ремонте конкретного здания за 40-летний период, чтобы спрогнозировать затраты на его техническое обслуживание [2]. Способ, предложенный авторами, имеет большой недостаток, который препятствует повсеместному применению метода — использование исторических данных о ремонте. Данная особенность не позволяет использовать метод в случаях, когда отсутствует необходимая информация.

Стоимости ремонта касался *Yiqun Liu* в своей диссертации «*A forecasting model for maintenance and repair costs for office buildings*», в ней автор приводит модель для прогноза общих затрат на техническое обслуживание и ремонт офисных зданий. Помимо этого, автор выделил 6 факторов, оказывающих влияние на стоимость обслуживания и проведения ремонтов, и их вес. К этим факторам автор отнес: собственника объекта (государство или частное лицо), местоположение здания в черте города (центр или пригород), непосредственно город, возраст здания, площадь здания, высоту здания [3].

Временной аспект проведения ремонтов также был затронут в научных работах различных исследователей. Так, например, *Nahyun Kwon, Yong Han Ahn, Bo-Sik Son, Hyosoo Moon* в работе «*Developing a machine learning-based building repair time estimation model considering weight assigning methods*» разработали модель прогнозирования времени ремонта зданий с применением генетического алгоритма, множественного линейного регрессионного анализа, метода подсчета признаков и процесса нечетко-аналитической иерархии для рассуждений на основе прецедентов. При этом они отмечают некоторые недостатки модели: использовались данные полученные только лишь из одного источника; модель показывает примерное время работ, для более точного прогноза необходимо рассматривать каждый конкретный случай более подробно; в модели не учитываются внешние факторы, которые могут оказать влияние на фактическое время проведения ремонта, также не учитывается взаимосвязь между компонентами одного здания; предлагаемая модель разработана и проверена на основе жилого многоквартирного дома и исходя из этого модель может иметь ограниченную применимость к обслуживанию других типов зданий [4].

*Clara Pereira, Ana Silva, Jorge de Brito, José Dinis Silvestre* в своей научной работе «*Urgency of repair of building elements: Prediction and influencing factors in facade renders*» с помощью множественной линейной регрессии прогнозируют срочность ремонта дефектов оштукатуренных фасадов. В работе авторы использовали различные инструменты: методы описательной статистики, факторный анализ, кластерный анализ. Также авторы выделили 4 фактора, влияющих на принятие решения о срочности ремонта фасадов: первый фактор представляет собой окружающие условия и характеристики строительного элемента; второй фактор представляет собой возраст здания и окружающие агрессивные условия; третий фактор представляет характеристики деградации; четвертый фактор — толщина дефектов растрескивания. У метода присутствуют некоторые недостатки. Так, например, он может быть чувствителен к выбросам, искажающим результаты. Помимо этого, авторы указывают на необходимость увеличения выборки, чтобы повысить достоверность метода [5].

Ученые *Sojin Park, Nahyun Kwon, Yong Han Ahn* в работе «*Forecasting Repair Schedule for Building Components Based on Case-Based Reasoning and Fuzzy-ANP*» выполняют прогнозирование графика ремонта компонентов здания, а также предлагают модель на основе прецедентов для оценки времени, через которое потребуется первый ремонт после завершения строительства многоквартирного дома, даже на этапах, когда информации, связанной с техническим обслуживанием, недостаточно. Однако данная модель может иметь ограниченную применимость, поскольку ее оценка проводилась в общих чертах. Также авторы отмечают, что внешние условия, строительные материалы и технические характеристики компонентов не учитываются в предлагаемой модели. Помимо этого, отмечается, что средние абсолютные процентные ошибки модели в основном не превышают 20 % [6].

Исследователи *Said Abdel Hamid, Ahmed Nouh Meshref, Nael Yousry Zabel* в своей работе «*A model for prioritizing concrete structures repair works*» предложили модель износа железобетона для определения приоритетности ремонтных работ железобетонных конструкций. Также авторы выделили пять категорий факторов, которые в сочетании влияют на износ бетонных конструкций: проектировочные (например, конструкция фундамента), факторы конструкции (состав смеси), защитные (теплоизоляция), материальные (цемент), внешнего воздействия (химические вещества) [7].

*Bucoń R. и Sobotka A.* в своей работе «*Decision-making model for choosing residential building repair variants*» разработали модель принятия решения по выбору ремонта жилого дома из нескольких вариантов. Также они предложили алгоритм принятия решений, который состоит из пяти этапов: оценка состояния здания, оценка стоимости здания, классификация ремонта, рассмотрение нескольких вариантов ремонта, непосредственно выбор ремонта [8].

#### Аналитический обзор отечественных научных исследований

Темы, связанные с ремонтами, в своих научных трудах касались и отечественные исследователи. Так *Погодаев А.К., Корнеев А.Д., Маракушин М.В.* в своем научном труде «*Задача перспективного планирования ремонтно-восстановительных работ*» предложили свою собственную математическую модель, позволяющую прогнозировать физический износ жилого здания, для планирования ремонта жилого фонда с целью обеспечения контроля за их состоянием и повышения качества своевременных ремонтов с наименьшими затратами. Однако авторы отмечают, что применение модели на конкретном здании не даст результаты, которые были бы лучше экспертной оценки, при этом применение модели

имеет смысл при планировании ремонтно-восстановительных работ для большого числа жилых зданий [9].

Российские исследователи *Жижко И.Б. и Демьянов К.В.* в своей научной публикации «*Учет степени физического износа в механизме финансирования капитального ремонта жилых зданий на основе моделей прогнозирования*» предложили механизм финансирования капитального ремонта на основе собственной математической модели, которая позволяет прогнозировать размер предстоящих расходов на ремонтные работы жилищного фонда с различной степенью физического износа [10].

Интересное решение предложили *Белый В.С. и Адамушко Н.Н.* в своей научной статье «*Применение рядов Фурье для прогнозирования технического состояния здания*». В данной работе исследователи продемонстрировали возможность применения рядов Фурье при прогнозировании технического состояния здания и заключили, что при увеличении количества гармоник прогноз технического состояния здания становится более точным [11].

*Киевский И.Л. и Леонов В.В.* в работе «*Прогнозирование физического износа зданий*» предлагают свою собственную методику определения увеличения физического износа жилого фонда с течением времени. По результатам своей работы они пришли к выводу, что через конкретный промежуток времени для более новых зданий процент износа ниже, чем за аналогичный период для старых зданий [12].

Исследователи *Мищенко В.Я., Головинский П.А. и Драпалюк Д.А.* в статье «*Прогнозирование темпов износа жилого фонда на основе мониторинга дефектов строительных конструкций*» предложили методику разработки планов производства работ с учетом ограничений по ресурсам с использованием матрично-сетевой модели [13].

В своей работе «*Методика оценки риска при прогнозировании остаточного срока службы строительных конструкций*» *Шмелев Г.Д.* предложил методику оценки риска ошибок первого и второго рода при прогнозировании остаточного срока службы строительных конструкций [14].

В статье «*Применение методов статистической экстраполяции при планировании ремонтов зданий*» *Опарин Р.Ю.* предлагает методику, которая опирается на экстраполяцию статистических данных, которые получены в результате мониторинга состояния элементов здания [15].

В своей научной работе «*Применение цифрового двойника здания для прогнозирования эксплуатацион-*

ных затрат» Полупанова Ю.Р., Петроченко М.В. и Латухина А.И. предлагают использовать цифровой двойник здания на этапе эксплуатации, т.к. это, по утверждению авторов, должно обеспечить контроль за техническим состоянием и износом систем и конструкций, следование плану выполнения текущих и капитальных ремонтов, что в итоге приведет к снижению эксплуатационных расходов [16].

Ученые-исследователи Зайцев В.О. и Богданов А.Н. в своей статье «Мониторинг зданий в BIM-комплексах в период эксплуатации, капитального ремонта и реконструкции на примере стадиона «Заря» разработали алгоритм принятия решений при возникновении критических деформаций конструкций, влекущие за собой аварийные ситуации в период эксплуатации здания, капитального ремонта и реконструкции [17]. Однако данный алгоритм нацелен, на то, что следовать ему будут люди, а не компьютерные системы.

Ганзен Е.В. и Липидус А.А. в работе «Актуальные вопросы организации работ по капитальному ремонту и реконструкции общественных зданий» утверждают, что на момент написания ими статьи отсутствует инструмент, предназначенный для принятия организационно-технологических и управленческих решений по проведению реконструкции и капитального ремонта общественных зданий, который также позволил бы оценить перспективу и технико-экономическую обоснованность их осуществления [18].

В своей статье «Выбор значимых факторов для принятия решений по капитальному ремонту и реконструкции административных зданий» Ганзен Е.В. с привлечением 25 экспертов провел классификацию факторов влияющих на принятие решения по капитальному ремонту, а затем на основе методов математической статистики установил самые значимые факторы: физический износ здания, моральный износ здания, продолжительность эксплуатации здания, качество, плановый срок выполнения работ и наличие подземной инфраструктуры в зоне выполнения работ [19].

Исследователи Каракулова А.В. и Солдатова А.В. в своей научной работе «Алгоритм поддержки принятия решения по ранжированию приоритетности видов работ по капитальному ремонту многоквартирного дома» предлагают алгоритм субъектно-ориентированного ранжирования видов ремонтных работ по степени их важности и первоочередности. На значимость ремонтных работ, по мнению авторов, влияют следующие критерии: уровень физического износа, степень влияния ремонтируемого элемента на безопасность здания, степень влияния ремонтируемого элемента на комфортность здания [20].

В своей научной статье. «Особенности классификации жилых зданий для принятия решений по их реновации» Матренинский С.И., Старова К.К., Попова К.А. и Черкашина В.В. сформировали классы зданий по указанным показателям морального и физического износа, технической комфортности для планирования их реновации [21].

#### Аналитический обзор отечественных научных исследований, отображенных в диссертациях на соискание ученой степени кандидата технических наук

Также темы, связанные с ремонтами, поднимались в диссертациях на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Так Опарин Р.Ю. в своей диссертации «Организация и планирование ремонта функциональных помещений с использованием информационных технологий» предложил инфологическую модель системы планирования ремонтно-строительных работ общественных зданий; ввел новую классификацию элементов зданий: сменяемые (срок службы элементов меньше срока службы здания) и несменяемые (срок службы элементов определяет срок службы всего здания); разработал методики определения размера ремонтного фонда на основе стоимостной оценки физического износа; разработал новую экономико-математическую модель планирования ремонтно-строительных работ [22].

В диссертации «Метод календарного планирования ремонта жилых зданий на основе их структурного анализа» Попова О.Н. предложила алгоритм системно-структурного подхода к организационно-технологическому проектированию и планированию комплексного процесса воспроизводства жилищного фонда; разработала методику кластеризации жилищного фонда на основе нейросетевого моделирования с использованием самоорганизующихся карт; сформировала модели физического износа конструктивных элементов и систем инженерного оборудования жилых зданий; разработала метод календарного планирования ремонта жилых зданий [23].

В диссертации «Мониторинг эксплуатационного износа зданий и сооружений и разработка матрицы организации капитальных и текущих ремонтов» Драпалюк Д.А. определил факторы количественной оценки эксплуатационного износа элементов зданий и сооружений для определения уровня остаточного ресурса; предложил математическую модель, описывающую износ зданий с учетом старения, степени поврежденности элементов, нарушений условий эксплуатации; разработал методику планирования ремонтно-строительных работ на основе интегральных показателей состояния несущих строительных конструкций [24].

Ганзен Е.В. в диссертации «Методика принятия решения проведения капитального ремонта и реконструкции административных зданий» установил параметры организационно-технологических решений, влияющих на принятие решения проведения работ по капитальному ремонту и реконструкции административных зданий; определил значимые факторы, влияющие на принятие решения о необходимости проведения капитального ремонта; разработал методику принятия решения проведения капитального ремонта [25].

В диссертации Бакушин Н.В «Выбор рациональных технологических решений при капитальном ремонте и реконструкции зданий» сформулировал теоретические аспекты оценки и выбора рациональных технологических решений при капитальном ремонте жилых зданий; сформировал принципы формирования и обоснования выбора показателей и критериев оценки и выбора вариантов технических и организационно-технологических решений; разработал методы решения задач, возникающих в процессе проектирования, организационно-тех-

нологической подготовки и осуществления капитального ремонта жилых зданий [26].

### Заключение

Проведенный анализ свидетельствует о существующем интересе ученых к проблеме поиска технологий для улучшения принятия решений о проведении косметических ремонтов зданий. Идет поиск решений, результаты которых потенциально могут быть использованы в системе принятия решения о проведении косметического ремонта здания. Наличие соответствующих публикаций на мировом уровне показывает, что тема, связанная с оптимизацией ресурсов и улучшения качества ремонта зданий, актуальна и рассматривается в научном мире. Выполненный аналитический обзор научных работ может быть использован в качестве отправной точки для переосмысления результатов затронутых научных исследований с позиции их применения при проектировании интеллектуальной системы принятия решения о проведении косметического ремонта здания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. A Predictive Maintenance Methodology: Predicting the Time-to-Failure of Machines in Industry 4.0 / Züfle M., Agne J., Grohmann J., Dörtoluk I., Kounev S. // 2021 IEEE 19th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). 2021. P. 1–8.
2. Li C.S., Chen P.J., Guo S.J. Application of back-propagation artificial neural network to predict maintenance costs and budget for university buildings // 2010 Sixth International Conference on Natural Computation. 2010. V. 3. P. 1546–1551.
3. Liu Y. A forecasting model for maintenance and repair costs for office buildings. Montreal: Concordia University, 2006.
4. Developing a machine learning-based building repair time estimation model considering weight assigning methods / Kwon N., Ahn Y.H., Son B.S., Moon H. // Journal of Building Engineering. 2021. V. 43. P. 1–16.
5. Urgency of repair of building elements: Prediction and influencing factors in façade renders / Pereira C., Silva A., Brito J.D., Silvestre J.D. // Construction and Building Materials, 2020. V. 249. P. 1–27.
6. Park S., Kwon N., Ahn Y.H. Forecasting Repair Schedule for Building Components Based on Case-Based Reasoning and Fuzzy-AHP // Sustainability. 2019. V. 11. P. 1–17.
7. Hamid S.A., Meshref A.N., Zabel N.Y. A model for prioritizing concrete structures repair works // HBRC Journal. 2018. V. 14. P. 334–339.
8. Bucoń R., Sobotka A. Decision-making model for choosing residential building repair variants // Journal of Civil Engineering and Management. 2015. V. 21. P. 893–901.
9. Погодаев А.К., Корнеев А.Д., Маракушин М.В. Задача перспективного планирования ремонтно-восстановительных работ // Управление большими системами: сборник трудов. 2006. № 12–13. С. 134–141.
10. Жижко И.Б., Демьянов К.В. Учет степени физического износа в механизме финансирования капитального ремонта жилых зданий на основе моделей прогнозирования // Известия Байкальского государственного университета. 2014. № 2. С. 71–79.
11. Белый В.С., Адамушко Н.Н. Применение рядов Фурье для прогнозирования технического состояния здания // Экология и строительство. 2015. № 1. С. 11–14.
12. Киевский И.Л., Леонов В.В. Прогнозирование физического износа зданий // Жилищное строительство. 2017. № 7. С. 17–20.
13. Мищенко В.Я., Головинский П.А., Драпалюк Д.А. Прогнозирование темпов износа жилого фонда на основе мониторинга дефектов строительных конструкций // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 4. С. 111–117.
14. Шмелев Г.Д. Методика оценки риска при прогнозировании остаточного срока службы строительных конструкций // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. № 3. С. 81–84.
15. Опарин Р.Ю. Применение методов статистической экстраполяции при планировании ремонтов зданий // Жилищное строительство. 2007. № 12. С. 16–18.
16. Полупанова Ю.Р., Петроченко М.В., Латухина А.И. Применение цифрового двойника здания для прогнозирования эксплуатационных затрат // Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции. СПб: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2019. С. 133–137.
17. Зайцев В.О., Богданов А.Н. Мониторинг зданий в BIM-комплексах в период эксплуатации, капитального ремонта и реконструкции на примере стадиона «Заря» // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. № 4. С. 88–95.
18. Ганзен Е.В., Лапидус А.А. Актуальные вопросы организации работ по капитальному ремонту и реконструкции общественных зданий // Строительное производство. 2020. № 4. С. 44–50.

19. Ганзен Е.В. Выбор значимых факторов для принятия решений по капитальному ремонту и реконструкции административных зданий // Строительное производство. 2021. № 4. С. 62–69.
20. Каракулова А.В., Солдатова А.В. Алгоритм поддержки принятия решения по ранжированию приоритетности видов работ по капитальному ремонту многоквартирного дома // MASTER'S JOURNAL. 2015. № 1. С. 160–166.
21. Особенности классификации жилых зданий для принятия решений по их реновации / Матренинский С.И., Старова К.К., Попова К.А., Черкашина В.В. // Высокие технологии в строительном комплексе. 2018. № 2. С. 21–31.
22. Опарин Р.Ю. Организация и планирование ремонта функциональных помещений с использованием информационных технологий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2009. 24 с.
23. Попова О.Н. Метод календарного планирования ремонта жилых зданий на основе их структурного анализа: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2014. 22 с.
24. Драпалюк Д.А. Мониторинг эксплуатационного износа зданий и сооружений и разработка матрицы организации капитальных и текущих ремонтов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2010. 18 с.
25. Ганзен Е.В. Методика принятия решения проведения капитального ремонта и реконструкции административных зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2022. 23 с.
26. Бакушин Н.В. Выбор рациональных технологических решений при капитальном ремонте и реконструкции зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1998. 24 с.

---

© Качалин Василий Сергеевич (vasiliy.kachalin@gmail.com); Калугин Алексей Владимирович  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ VST REAL-TIME ПЛАГИНОВ ДЛЯ ГЕНДЕРНОГО МОРФИНГА ГОЛОСА

**Каширин Максим Александрович**

Аспирант, Омский государственный  
университет им. Ф.М. Достоевского;  
Ведущий разработчик, ООО «Симбирсофт»  
kashirin-maxim1998@yandex.ru

## ANALYSIS OF VST REAL-TIME PLUGINS FOR VOICE GENDER MORPHING

**M. Kashirin**

*Summary.* The article discusses methods of changing sound using VST instruments in real time, with an emphasis on converting voices from male to female and vice versa. Popular tools such as MorphVOX Pro and Clownfish Voice Changer have been analyzed, which allow users to instantly change their voice in contexts such as gaming, streaming and voice chats. Special attention is paid to the fundamental frequencies and frequency ranges important for determining the differences between male and female voices, as well as how they can be modified using technologies such as pitch change and formant shift to achieve accurate and realistic sound conversion. Technical difficulties related to audio editing are also discussed, such as maintaining sound quality and realism during conversion, as well as distortion or delay issues when using real-time tools. These tools offer huge potential to enhance creativity in areas such as filmmaking and gaming, however, there is an ongoing need to develop more accurate and faster methods to overcome these challenges. In conclusion, the article highlights the importance of this technology for creating an innovative audio experience and points to areas of future research aimed at improving tools for changing sound using artificial intelligence, improving the quality of modified sound and reducing time delays.

*Keywords:* voice morphing, voice changing, vst plugins, digital audio processing, sounddesign.

*Аннотация.* В статье рассматриваются методы изменения звука с использованием VST (Virtual Studio Technology) инструментов в реальном времени, с акцентом на преобразование голосов с мужского на женский и наоборот. Проанализированы популярные инструменты, такие как MorphVOX Pro и Clownfish Voice Changer, которые позволяют пользователям мгновенно изменять голос в таких контекстах, как игры, потоковое вещание и голосовые чаты. Особое внимание уделяется основным частотам и диапазонам частот, важным для определения различий между мужскими и женскими голосами, а также тому, как их можно модифицировать с помощью таких технологий, как изменение высоты тона и формантный сдвиг для достижения точного и реалистичного преобразования звука. Также обсуждаются технические трудности, связанные с редактированием звука, такие как сохранение качества звука и реализма во время преобразования, а также проблемы искажения или задержки при использовании инструментов в реальном времени. Эти инструменты открывают огромный потенциал для повышения креативности в таких областях, как кинопроизводство и игры, однако существует постоянная необходимость в разработке более точных и быстрых методов для преодоления этих проблем. В заключение, статья подчеркивает важность этой технологии для создания инновационного аудиоопыта и указывает на области будущих исследований, направленных на улучшение инструментов для изменения звука с помощью искусственного интеллекта, повышение качества изменённого звука и сокращение временных задержек.

*Ключевые слова:* морфинг голоса, изменение голоса, vst плагины, цифровая обработка звука, саунддизайн.

## Введение

В современную цифровую эпоху технологии стали неотъемлемой частью повседневной жизни, играя ключевую роль в совершенствовании многих сфер, включая медиа и индустрию развлечений. Одной из таких технологий является изменение голоса, которое активно применяется в кинопроизводстве, прямых трансляциях и видеоиграх. Эта технология позволяет пользователям не только изменять голос, но и полностью менять его идентичность. Одним из наиболее распространённых инструментов для изменения голоса является VST (Virtual Studio Technology) — программная платформа, обеспечивающая возможность добавления эффектов и модификаций к аудиозаписям в режиме реального времени. За последние годы технологии VST значительно эволюционировали, став более точными и ре-

алистичными, что позволяет как профессионалам, так и новичкам добиваться впечатляющих результатов [1].

VST-платформа представляет собой ключевой компонент программного обеспечения для записи и редактирования звука, предлагая широкий спектр инструментов для изменения звуковых характеристик. Среди наиболее популярных — плагины, используемые для изменения высоты голоса, модуляции частот (frequency shifting) или добавления таких эффектов, как эхо или искажение, что позволяет полностью изменить идентичность голоса.

Особую ценность технологии VST представляют для изменения голоса с мужского на женский и наоборот, что делает их полезными в различных креативных сферах. Например, в игровой индустрии такие технологии применяются для синхронизации голоса персонажа

с его ролью. В кино и сериалах они позволяют актёрам менять голос так, чтобы он звучал, как голос другого человека или противоположного пола [2].

Кроме того, в прямых трансляциях и подкастах ведущие и исполнители часто используют VST для изменения своего голоса в реальном времени, чтобы привлечь внимание аудитории или создать определённую атмосферу. В данной работе будут всесторонне рассмотрены возможности VST-инструментов для изменения голоса с мужского на женский и обратно, а также будут исследованы технические различия между голосами по тональности, основным частотам и другим акустическим аспектам. Также будут кратко описаны наиболее популярные программы, основанные на VST, и их практическое применение в различных областях, включая музыку, игры и кино

### Цели

Данный проект ставит перед собой несколько основных целей, которые описаны ниже и связаны с использованием инструментов VST для изменения звука. Данная статья будет стремиться к следующему:

1. Понимание VST-инструментов, использующихся для редактирования звука. Данный пункт предполагает проведение обзора самых популярных инструментов VST, которые представлены на рынке, и являются основными инструментами в реальном времени, использующиеся для смены голоса. Акцент будет сделан на способах реализации этих инструментов, на их точность, удобство использования и гибкость выполнения для новичков и профессионалов;
2. Применение VST-технологий для работы в реальном времени. Проведение практической работы, соответствующей упомянутым инструментам, позволит увидеть применение теоретических данных на практике. В данном пункте будут описаны инструменты высотного и формантного сдвигов тона Change pitch и Formant changer.

Данные инструменты представляют собой смену тона голоса и изменение формантных частот, чтобы измененные изменения частот ассоциировались мужчинами и женщинами; С этими целями статья стремится предоставить всесторонний обзор того, как эффективно использовать технологию VST для изменения голоса, выделяя технические различия между мужскими и женскими голосами, а также предлагая практические решения для преодоления трудностей, с которыми сталкиваются пользователи при работе с этими инструментами.

*Объяснение VST и его плагинов для работы в реальном времени*

Это стандарт программного обеспечения, разработанный компанией Steinberg, который позволяет поль-

зователям интегрировать звуковые инструменты и эффекты в программы для редактирования цифрового аудио. Основу технологии составляют плагины, которые предназначены для обработки звука или генерации звуковых эффектов в цифровой среде. VST предоставляет пользователям возможность создавать сложные аудиозаписи, применять разнообразные эффекты и изменять звук в режиме реального времени. Это делает VST незаменимым инструментом в современном музыкальном производстве и аудиоредактировании, обеспечивая высокий уровень гибкости и качества звука [1-4].

### Методы и материалы

*Особенности VST [1–4]:*

1. VST — универсальный инструмент, который находит применение в различных областях аудио, начиная от создания музыки и заканчивая звуковым монтажом для кино и трансляций. Возможности VST охватывают широкий спектр функций для редактирования звука, включая изменение тональности, настройку частот, добавление звуковых эффектов и полное преобразование звучания до неузнаваемости.
2. Тщательное управление звуком. Инструменты VST обеспечивают точный контроль над всеми аспектами звука. Например, пользователи могут регулировать основные частоты и тембры, что позволяет детализировать звучание для достижения желаемого результата как для голоса, так и для музыкальных инструментов.
3. Расширяемость. Благодаря множеству доступных плагинов VST предлагает гибкость в настройках. Плагины могут быть разработаны как сторонними компаниями, так и созданы самостоятельно, что делает VST очень адаптивным инструментом, позволяя пользователям изменять и расширять его функционал в соответствии с индивидуальными потребностями.

*Функции плагинов VST для работы в реальном времени*

Одной из ключевых особенностей VST инструментов является способность обрабатывать и изменять звук в реальном времени, что позволяет пользователям немедленно услышать изменения после их внесения, без необходимости ожидать обработки звука. Вот основные преимущества работы в режиме реального времени:

1. Моментальное и интерактивное редактирование: В ситуациях, где требуется оперативное и точное редактирование звука, таких как живые выступления или прямые трансляции, VST инструменты позволяют изменять звук непосредственно во время записи или воспроизведения, меняя высоту тона, частоту или другие эффекты.

2. Минимальная задержка: Для эффективной работы в реальном времени VST инструменты должны обрабатывать звук мгновенно. Это гарантирует отсутствие задержек или прерываний во время проигрывания, обеспечивая плавный и естественный опыт и сокращая время задержки.
3. Возможность взаимодействия с живыми инструментами и другим аудиооборудованием является ключевым преимуществом использования VST-инструментов. Артисты могут придать своим выступлениям глубину и гибкость, применяя VST-эффекты к инструментам в реальном времени, таким как гитара или клавишные.
4. Применение VST в прямых трансляциях и в играх не ограничивается только музыкальным производством. Пользователи могут использовать эти инструменты для потокового вещания, изменяя свои голоса в реальном времени во время общения или пения. Именно поэтому VST так популярны в стриминге и игровой индустрии, где звук можно мгновенно изменить, чтобы создать нужное настроение или соответствовать образам персонажей в играх.

#### *Практический пример*

Применение VST-плагинов для преобразования голоса с мужского на женский и наоборот позволяет оперативно изменять различные аспекты звучания, включая форманты и тональность. Это предоставляет возможность трансформировать голос, увеличивая верхние частоты и уменьшая высоту звука. Благодаря своей интерактивности, такие изменения могут быть внесены непосредственно во время исполнения или онлайн-трансляции. VST-плагины стали ключевым элементом арсенала современных творцов, будь то в звукозаписывающих студиях или на платформах для прямых эфиров и концертов, благодаря их способности эффективно функционировать в режиме реального времени. Эти инструменты открывают перед пользователями новые горизонты для манипуляции и настройки звука, что ранее было недостижимо.

#### *Voice Modulator Plugins и Pitch Shifting Plugins*

Обсуждая вопрос трансформации голоса от мужского к женскому или наоборот, нельзя не упомянуть популярные программные средства и приложения, которые используются как экспертами, так и начинающими. Инструменты для коррекции голоса и изменения его высоты активно применяются в разнообразных творческих сферах, включая музыкальное создание, онлайн-трансляции, разработку видеоигр и киноиндустрию, предоставляя гибкие и результативные методы для трансформации и улучшения звучания с помощью инновационных технологий [5–7]:

Плагины для коррекции голоса: Эти плагины служат ключевым инструментом для изменения голоса. Их основная функция заключается в корректировке и трансформации звучания голоса, что дает возможность полностью изменить его характер, делая его не узнаваемым. Эти приложения предоставляют обширный набор возможностей для преобразования мужского голоса в женский и наоборот, а также позволяют создавать необычные эффекты, такие как превращение голоса в звучание робота или монстра.

Проверенные средства для трансформации голоса:

- MorphVOX Pro: Этот инструмент пользуется огромной популярностью среди тех, кто стремится мгновенно изменить свою речь. Он предлагает обширный ассортимент голосовых эффектов, которые можно использовать для мужских и женских голосов. Особенностью MorphVOX Pro является возможность точной настройки голоса, чтобы он звучал натурально и подошел для разнообразных целей, включая игры и онлайн-трансляции [8].
- Clownfish Voice Changer: Этот инструмент отличается своей простотой и эффективностью. Он позволяет пользователям без труда менять свой голос, переходя от мужского к женскому или создавая необычные звуки, наподобие роботов или монстров [9].
- Voxal Voice Changer: Этот инструмент также обладает высокой степенью возможностей для изменения голоса. Он предлагает широкий спектр голосовых модификаций, которые можно применять в реальном времени. Особенностью Voxal Voice Changer является возможность точной настройки высоты тона и частоты [10].

#### *Pitch Shifting Plugins: Сдвиг высоты тона (Pitch Shifting)*

Этот метод позволяет корректировать высоту звучания голоса, при этом не влияя на его темп и продолжительность звучания, и является одним из наиболее распространенных способов обработки музыкальных и голосовых композиций. Применяя данную технику, можно поднять или понизить тональность голоса, чтобы он звучал более высоко (женственно) или низко (мужественно), при этом не меняя другие аспекты, вроде скорости или длительности звучания. Этот инструмент неocenim для трансформации голосов в соответствии с нужным полом или специфическими творческими запросами. Наиболее востребованными являются плагины для изменения высоты тона голоса [6–7]:

- Antares Auto-Tune: Один из наиболее известных инструментов для изменения высоты звучания голоса, применяемый как в музыке, так и для других коррекций звука. Широко используется в музыкальной сфере для исправления ошибок и из-

менения высоты звучания, но также представляет собой мощное средство для модификации голоса человека и его преобразования между полами.

- **Celemony Melodyne:** Профессиональный инструмент для точной настройки звука, который позволяет корректировать тон и изменять голос естественным и реалистичным образом. Обладает высокой степенью гибкости в управлении частотой звучания без утраты его первоначального качества [11].
- **Zynaptiq Pitchmap:** Позволяет быстро и точно регулировать высоту звучания и частоту, что делает его эффективным для плавного изменения звучания человеческого голоса с сохранением естественности [12].

### Обсуждение

#### Применение инструментов

Во время прямых трансляций и записи подкастов, возможности модуляции голоса помогают изменять тембр и интонацию ведущих и дикторов, чтобы создавать различные характеры или атмосферу. Такие инструменты также применяются для трансформации голоса во время голосовых разговоров или общения в онлайн-чатах.

В игровой индустрии: Многие игроки используют подобные возможности, чтобы преобразить голос своего виртуального персонажа, придавая ему особенности, соответствующие его роли в игре, например, изменяя пол голоса с мужского на женский или наоборот.

В сфере музыкального творчества: Технологии изменения тона позволяют адаптировать голос исполнителя к мелодии, делая его более гармоничным или преобразуя его так, чтобы он звучал как голос другого пола, придавая новые оттенки творческому процессу.

#### Важность задержки и точности в редактировании звука

Задержка представляет собой один из критически важных параметров в области цифровой обработки звука, особенно при применении инструментов, таких как VST, для редактирования аудио в режиме реального времени. Понятие задержки определяется как интервал времени между моментом поступления звукового сигнала (например, речи или музыки) и временем, когда измененный звук воспринимается слушателем. Увеличение задержки приводит к ухудшению плавности и реализма процесса обработки звука, что негативно сказывается на эффективности и качестве окончательного результата [13].

#### Фонетический анализ:

1. **Основные частоты:** Основные частоты — это низкочастотные составляющие, определяющие высоту человеческого голоса, и они являются основным отличием между мужскими и женскими голосами. У мужчин основные частоты обычно ниже (от 85 до 180 Гц), тогда как у женщин они выше (от 165 до 255 Гц). Эта разница обусловлена физиологическими различиями в голосовых связках и размерах голосового аппарата. При использовании VST-плагинов для изменения голоса с мужского на женский или наоборот, основные частоты корректируются — понижаются при преобразовании женского голоса в мужской и повышаются при преобразовании мужского голоса в женский. Это достигается с помощью инструментов, таких как Pitch Shifting, которые контролируют диапазон частот голоса для создания более соответствующего типа звука.
2. **Частотные диапазоны (форманты) и их изменение:** Форманты — это набор звуковых частот, определяемых формой и размером ротовой полости и гортани. Форманты придают звуку его характерную «окраску», позволяя различать звуки одинаковой высоты тона. В мужском голосе форманты ниже, чем в женском, из-за большего размера голосовой полости у мужчин. При изменении голоса между полами с использованием VST-плагинов форманты точно изменяются. Например, при преобразовании мужского голоса в женский требуется повышение формант, чтобы голос звучал более остро и женственно. Некоторые продвинутые инструменты, такие как Melodyne или Antares Auto-Tune, позволяют модифицировать форманты независимо от тона, что дает возможность изменять частотные диапазоны, не влияя на исходную частоту звука.
3. **Высота тона (Pitch):** Высота тона — это основной параметр, определяющий, как высоко или низко звучит голос. Женский голос обычно имеет более высокую высоту тона, чем мужской. Корректировка высоты тона — один из ключевых аспектов изменения голоса между полами. С помощью таких плагинов, как Pitch Shifter или Auto-Tune, тон можно повысить или понизить в зависимости от требуемого результата.
  - Для преобразования мужского голоса в женский тон повышается на несколько октав, чтобы голос звучал выше и ближе к женскому голосу.
  - Для преобразования женского голоса в мужской тон понижается, чтобы сделать голос глубже и тяжелее, что характерно для мужского голоса. Процесс изменения тона требует точности, чтобы сохранять реалистичность голоса и избегать искусственности и искажений. Продвинутые инструменты помогают достичь баланса между изменением тона и сохранением качества звука.

4. Гибкость голоса: Гибкость голоса — это способность легко изменять высоту и тональность во время разговора или пения. Гибкость голоса заметно отличается между полами: женский голос обычно более гибок в манипулировании высокими нотами, тогда как мужской голос более стабилен и имеет меньший диапазон частотных изменений.
- Женский голос: обладает большей гибкостью в манипуляции высокими частотами, легко переходя от низких к высоким тонам, что придает ему живость и выразительность.
  - Мужской голос: обычно менее гибок, поддерживая относительную стабильность в высоте тона и частотах, с заметно меньшей способностью переходить между нотами.

Для анализа можно использовать преобразование Фурье, искусственный интеллект с машинным обучением или глубокое обучение также используются в области голоса, но некоторые методы используются по-другому, некоторые создают новые голоса, некоторые полностью изменяют голос, а другие добавляют эффекты в зависимости от анализа искусственного интеллекта и запросов пользователей

## Заключение

Технологии редактирования звука с использованием VST и других программ стали ключевыми в цифровом творчестве, таких как кинопроизводство и игры. Эти инструменты позволяют художникам и создателям изменять голоса персонажей так, чтобы они соответствовали сюжетным задачам, усиливая погружение в контент. В играх они помогают игрокам изменять голоса своих персонажей, повышая уровень взаимодействия с виртуальным миром. Несмотря на значительный прогресс в технологиях редактирования звука, существуют области для дальнейших исследований. Одной из главных задач является улучшение качества изменённых голосов для повышения их реалистичности, а также минимизация искажений. Ещё одной важной областью является снижение задержки, чтобы обеспечить мгновенное редактирование звука без задержек. Также активно развиваются технологии искусственного интеллекта, которые позволяют этим инструментам более точно понимать контекст звука и естественно изменять голос.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Танев Г., Божиновский А. Технология виртуальной студии и ее применение в производстве цифровой музыки. — 2013.
2. Танев Г., Божиновский А. Технология виртуальной студии в музыкальном производстве // Международная конференция по инновациям в области ИКТ. — Гейдельберг: Springer International Publishing, 2013. — С. 231–241.
3. Осорио-Гонага Р. Проектирование и реализация цифровых фильтров в архитектуре виртуальной студии Steinberg (vst) // Съезд 119 Общества аудиоинженеров. — Общество аудиоинженеров, 2005.
4. Ким Д.Х. и др. Снижение шума при распознавании речи с использованием технологии виртуальной студии // Материалы конференции Корейского общества обработки информации. — Корейское общество обработки информации, 2018. — С. 21–24.
5. Писански К. и др. Модуляция голоса: окно в истоки голосового контроля человека? // Тенденции когнитивных наук. — 2016. — Т. 20. — №. 4. — С. 304–318.
6. Рахман С. Изменение высоты голоса в реальном времени // Компьютерная техника. — Т. 2. — С. 35163.
7. Чжэн Ю. и др. Вокальная привлекательность и произвольное изменение высоты голоса // Эволюция и поведение человека. — 2020. — Т. 41. — №. 2. — С. 170–175.
8. Ли Х. и др. Звук галлюцинаций: к более убедительной имитации внутренних голосов // Материалы конференции CHI 2022 года по человеческому фактору в вычислительных системах. — 2022. — С. 1–11.
9. Колли О. и др. Межвидовая изменчивость криков рыб-клоунов: степень сходства у близкородственных видов // Эволюционная биология БМК. — 2011. — Т. 11. — С. 1–9.
10. Анеджа П. Статистический анализ и тестирование надежности различных акустических элементов при судебно-медицинской экспертизе преобразованных образцов голоса // Доступно по адресу SSRN 4466886.
11. Бриджес-младший СР. Влияние программ настройки программного обеспечения на записи вокала // Съезд 149 Общества аудиоинженеров. — Общество аудиоинженеров, 2020.
12. Ассортимент Н.М.Б. Интересующие продукты // Компьютерный музыкальный журнал. — 2016. — Т. 40. — №. 1. — С. 76–87.
13. Бородин А.М., Александрова Н.В. ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ ЗВУКА В ЖИДКОЙ СРЕДЕ. — 2005.
14. Мицкевич М.В. СОЗДАНИЕ МУЗЫКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНЫХ VST-ИНСТРУМЕНТОВ // Региональная информатика (РИ-2022). — 2022. — С. 327–329.
15. Аракава Р. и др. Цифровая речевая коррекция: измененная слуховая обратная связь на основе преобразования голоса для трансформации саморепрезентации // Материалы Международной конференции по мультимодальному взаимодействию 2021 года. — 2021. — С. 159–167.

# РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ HR ДЕПАРТАМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЯ

## DEVELOPMENT OF A SERVICE FOR AUTOMATION OF PROCESSES OF HR DEPARTMENT OF THE BUSINESS ENTERPRISE

**I. Malinin  
A. Pantykhin  
V. Gladun  
S. Molodyakov**

*Summary.* The article is devoted to the development and implementation of a service for automating HR processes at a large enterprise. The focus is on optimizing tasks related to organizing interviews and collecting feedback. The study covers the selection of technologies as well as the integration of the system with corporate services. Achieved results, such as time savings and increased efficiency of the HR department, are described. Prospects for further system development are also discussed.

*Keywords:* web service, human resources, automation, chatbot.

**Малинин Илья Игоревич**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
malinin.ilja@gmail.com

**Пантюхин Андрей Максимович**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
panandafog@gmail.com

**Гладун Владимир Вадимович**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
vladimir.gldn@gmail.com

**Молодяков Сергей Александрович**

Д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
molodyakov\_sa@spbstu.ru

*Аннотация.* Статья посвящена разработке и внедрению сервиса для автоматизации HR процессов на крупном предприятии. Основное внимание уделено оптимизации задач, связанных с организацией собеседований и сбором обратной связи. В работе рассматривается выбор технологий, а также интеграция системы с корпоративными сервисами. Описаны достигнутые результаты, такие как снижение временных затрат и повышение эффективности работы HR департамента. Рассматриваются перспективы дальнейшего развития системы.

*Ключевые слова:* веб-сервис, отдел кадров, автоматизация, чат-бот.

## Введение

Автоматизация бизнес-процессов стала важным фактором для успеха предприятия, особенно в условиях растущей конкуренции и увеличения объёмов данных [1]. HR департаменты, сталкиваясь с растущей нагрузкой, нуждаются в автоматизированных решениях, которые могут упростить и ускорить выполнение рутинных задач. Однако существующие на рынке HR системы часто оказываются либо слишком сложными и дорогостоящими, либо не удовлетворяют специфическим потребностям компаний, что подчеркивает необходимость разработки более гибких и адаптированных решений.

Настоящая статья описывает разработку сервиса для автоматизации HR процессов в крупной компании, с акцентом на оптимизацию задач, связанных с проведением собеседований. Сервис был разработан для минимизации участия специалистов в организационных вопросах, что освобождает их время для более стратегических задач. Целью исследования было создание продукта, который бы не только автоматизировал текущие

HR процессы, но и легко интегрировался в существующие системы предприятия, адаптируясь к изменяющимся бизнес-требованиям.

Статья включает следующие разделы: цели и задачи проекта, анализ текущего процесса и его недостатков, обзор существующих решений и определение требований к новому продукту, описание процесса разработки и архитектуры программного продукта, а также основные достигнутые результаты и их практическое значение.

## Цели и задачи проекта

Основной целью проекта является разработка программного решения для частичной автоматизации процесса найма сотрудников на предприятии для минимизации рисков и увеличения эффективности работы участников процесса.

Задачи проекта:

1. Анализ существующего процесса найма.

Провести исследование текущего процесса администрирования собеседований, включая все его этапы

и вовлеченные стороны. Выявить основные проблемы и недостатки, которые оказывают негативное влияние на скорость и эффективность процесса [2].

2. Определение требований к новому программному продукту.

Определить функциональные и нефункциональные требования на основе анализа текущего процесса и потребностей ключевых стейкхолдеров.

3. Проектирование архитектуры приложения.

Разработать архитектуру программного продукта, обеспечивающую его масштабируемость, гибкость и возможность интеграции с существующими корпоративными системами.

4. Выбор технологий и инструментов разработки.

Проанализировать и выбрать наиболее подходящие технологии и инструменты для реализации проекта, с учетом их надежности, производительности и безопасности. Обеспечить интеграцию выбранных технологий с корпоративной IT-инфраструктурой предприятия.

5. Разработка и тестирование программного продукта.

Реализовать программное решение в соответствии с проектной архитектурой и требованиями, обеспечивая выполнение всех необходимых функций.

6. Оценка результатов и корректировка системы.

Провести оценку эффективности внедрения программного решения в реальных условиях эксплуатации. Собрать обратную связь от пользователей и внести необходимые корректировки для улучшения функциональности и удобства использования системы.

#### Анализ процесса до автоматизации

Путем опроса стейкхолдеров проекта и изучения внутренней документации предприятия были определены этапы процесса, перечень его участников и имеющиеся проблемы.

Участниками процесса найма являются:

- Нанимающий менеджер;
- HR департамент;
- Кандидат на позицию;
- Собеседующий инженер компании;

На начало проекта процесс найма делился на следующие этапы:

1. Инициация процесса. Проекты, нуждающиеся в новых специалистах, обращались к Нанимающе-

му менеджеру с запросом на открытие вакансии. Нанимающий менеджер, в свою очередь, направляет запрос в HR департамент, который занимается поиском и предварительным отбором кандидатов.

2. Телефонный скрининг. После первичного отбора кандидатам назначается телефонный скрининг с представителем HR департамента, результаты которого передаются Нанимающему менеджеру.
3. Назначение собеседования. В случае успешного прохождения телефонного скрининга, HR департамент согласовывает дату и время прохождения технического собеседования с кандидатом и передает информацию Нанимающему менеджеру.
4. Организация собеседования. Нанимающий менеджер выбирает минимум двух Инженеров от подразделения для проведения технического собеседования. Информация о кандидате и времени собеседования передается выбранным Инженерам.
5. Сбор обратной связи. После проведения собеседования Инженеры формируют обратная связь, на основании которой Нанимающий менеджер и HR департамент принимали решение о найме кандидата или необходимости проведения дополнительных этапов собеседования, которые повлекут возврат к этапу 3.

Были выявлены следующие недостатки:

1. Высокие временные затраты на организацию. Основная проблема в том, что процесс организации собеседований требовал значительных временных затрат на координацию действий между различными участниками и высокую степень вовлечения Нанимающего менеджера. Каждое изменение в графике собеседований или составе участников требует повторного согласования и множества взаимодействий, что замедляет процесс найма.
2. Человеческий фактор. Ручное управление процессом приводит к множеству потенциальных ошибок, таких как неправильное назначение времени, пропуски уведомлений или несвоевременное получение обратной связи, что снижало общую эффективность процесса.
3. Неоптимальное использование ресурсов. Значительное количество времени Нанимающего менеджера и HR специалистов тратятся на множественные административные задачи, которое могло бы быть использовано более эффективно на иные задачи, связанные с их непосредственной деятельностью.

На фоне выявленных недостатков стало понятно, что для повышения эффективности необходимо внедрение автоматизированной системы управления собеседова-

ниями. Автоматизация могла бы существенно сократить временные затраты на организацию собеседований, минимизировать количество ошибок, связанных с человеческим фактором, и предоставить более прозрачный инструмент для управления и контроля за процессом найма [3].

### Определение требований к разрабатываемому сервису и обзор существующих решений

В ходе взаимодействия со стейкхолдерами были выявлены следующие требования:

1. Работа во внутренней сети заказчика
2. Система должна автоматически принимать и обрабатывать заявки на проведение собеседований, поступающие на определённый почтовый ящик. Автоматическая обработка этих писем должна включать идентификацию заявок, их классификацию и распределение по заданным параметрам.
3. Приложение должно автоматически собирать и отслеживать статусы интервьюеров в рамках заранее установленных временных интервалов.
4. Система должна самостоятельно управлять процессом поиска и назначения интервьюеров на собеседования, исходя из заранее согласованных условий с заказчиком.
5. Приложение должно осуществлять нотификацию участников процесса только в рабочие часы.
6. Приложение должно собирать данные о результатах собеседований от всех участников со стороны заказчика.
7. Приложение должно быть спроектировано таким образом, чтобы в будущем его можно было легко расширять и интегрировать с другими корпоративными сервисами.
8. Продукт должен поддерживать взаимодействие с сотрудниками через мессенджер Telegram [4]. Это позволит оперативно уведомлять участников процесса о событиях и собирать обратную связь, используя удобный и привычный интерфейс.

Исходя из указанных требований, были рассмотрены существующие решения на рынке HR технологий. Нашей целью было определить, какие из доступных инструментов могут удовлетворить выявленные функциональные и нефункциональные требования, а также выявить пробелы, которые потребуют разработки уникальных решений.

На рынке HR технологий [5] существует несколько крупных игроков, предлагающих программные продукты для автоматизации процессов найма. Среди них выделяются такие решения, как KORUS Digital HR и Talantix. Однако, несмотря на их популярность и широкие функциональные возможности, эти системы не полностью удовлетворяют специфические требования, предъявляемые заказчиком.

KORUS Digital HR — это отечественное решение для управления персоналом, которое предлагает широкий набор функций для автоматизации HR процессов [6]. В частности, система предоставляет возможности для ведения календарей собеседований, отправки уведомлений участникам и сбора обратной связи. Однако KORUS Digital HR не предлагает интеграции с мессенджерами, такими как Telegram, не поддерживает автоматическую обработку писем и не может быть интегрирована в системы заказчика ввиду закрытости, что является критичным для выполнения требований заказчика.

Talantix — это еще одно популярное решение на российском рынке, разработанное группой компаний HeadHunter [7]. Основное преимущество Talantix заключается в интеграции с базой данных hh.ru, что значительно упрощает процесс поиска кандидатов. Система также поддерживает функции управления собеседованиями и сбора обратной связи. Однако, как и KORUS Digital HR, Talantix не обеспечивает необходимую интеграцию с корпоративными системами и мессенджерами, что ограничивает его применимость в рамках данного проекта.

Несмотря на наличие функциональности, которая может удовлетворить некоторые из требований заказчика, ни одно из рассмотренных решений не предоставляет полного набора возможностей, необходимых для автоматизации процессов в соответствии с предъявленными требованиями. Разработка собственного решения даст возможность создать систему, которая будет соответствовать всем функциональным и нефункциональным требованиям заказчика, интегрируясь с существующими корпоративными системами и обеспечивая высокую степень автоматизации и удобства использования.

### Разработка сервиса и результаты

В ходе выполнения проекта были тщательно проанализированы различные технологии, чтобы выбрать наиболее подходящие для реализации проекта. Основными критериями выбора были соответствие функциональным требованиям, надежность, производительность, поддержка со стороны сообщества, а также возможность интеграции с существующими системами предприятия.

Для реализации программного продукта был выбран язык программирования Python [8]. Основными причинами выбора Python стали его популярность, богатая экосистема библиотек и фреймворков, а также активная поддержка со стороны сообщества разработчиков. Python предоставляет мощные инструменты для работы с сетевыми протоколами, интеграции с различными сервисами и написания чат-ботов, что было критично для проекта.

Основная логика приложения реализована с использованием фреймворка Flask [9], что обеспечивает гибкость и расширяемость системы. Сервисный слой отвечает за обработку входящих запросов, управление данными и взаимодействие с внешними системами.

Для разработки чат-бота, который осуществляет взаимодействие с инженерами через мессенджер Telegram, была выбрана библиотека Aiogram [10]. Эта библиотека обеспечивает удобную работу с Telegram API, поддерживает асинхронность, что позволяет значительно ускорить обработку запросов и увеличить производительность приложения. Aiogram также имеет хорошо продуманную систему управления состояниями, что упрощает реализацию сложных сценариев взаимодействия.

Для взаимодействия с почтовым сервером Microsoft Exchange и обработки входящих писем, использовались библиотеки imap-tools и exchangelib. Использование imap-tools позволило эффективно обрабатывать входящие запросы на проведение собеседований и интегрировать их в общую логику приложения. Exchangelib же использовался для взаимодействия с календарями пользователей.

Для хранения данных о собеседованиях, обратной связи и других аспектах работы системы была выбрана реляционная база данных PostgreSQL [11]. Это решение было принято из-за высокой производительности, масштабируемости и надежности PostgreSQL, а также её активного использования в корпоративной среде. Для реализации кэширования данных и работы с очередями использовалась NoSQL база данных Redis [12].

Для обеспечения гибкости развертывания и управления средами разработки и эксплуатации использовались технологии контейнеризации Docker [13] и оркестрации Kubernetes [14]. Docker позволил упаковать все зависимости и окружение приложения в единый контейнер, что обеспечило его переносимость и совместимость. Kubernetes, в свою очередь, был использован для управления контейнерами и автоматического масштабирования приложения в зависимости от нагрузки.

Для управления исходным кодом и реализации непрерывной интеграции и доставки (CI/CD) был использован GitLab [15]. Этот инструмент предоставляет обширные возможности для работы с репозиториями, автоматизации сборки, тестирования и развертывания. В рамках проекта GitLab CI/CD использовался для автоматической сборки Docker-образов, тестирования и развертывания приложения в корпоративный Kubernetes кластер. Архитектура сервиса представлена на рис. 1.

Разработанная архитектура программного продукта основывается на принципах модульности и масштаби-

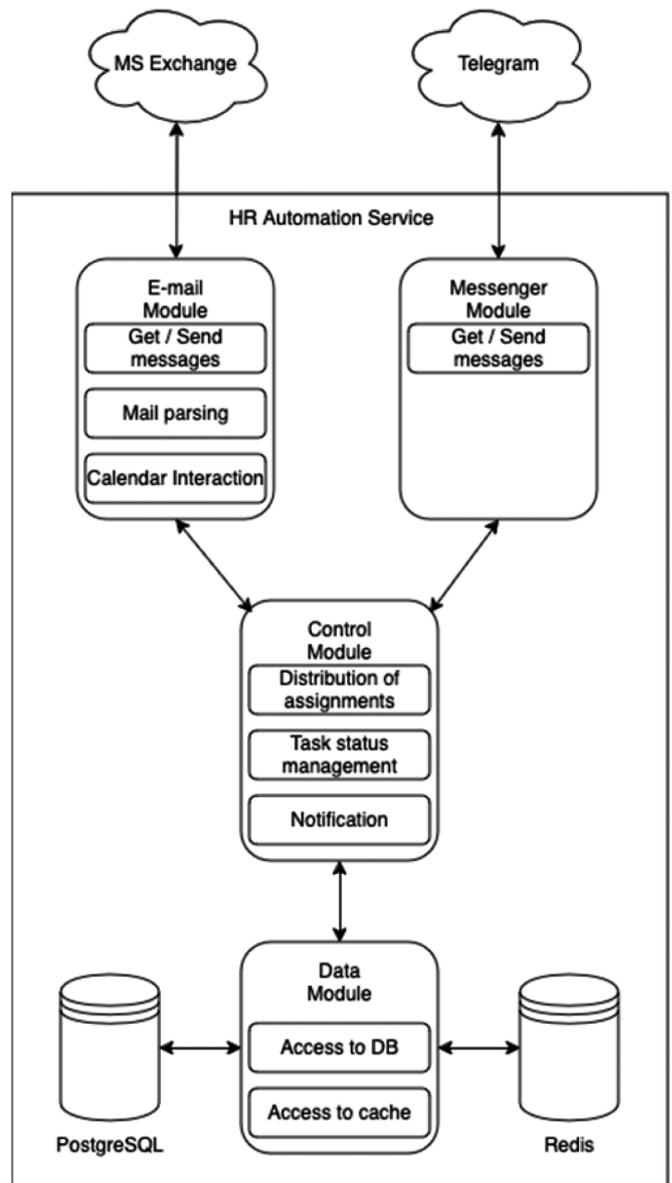


Рис. 1. Архитектура приложения

руемости, что позволяет обеспечить гибкость системы и её адаптируемость к изменяющимся требованиям бизнеса. Архитектура проекта была разработана с учетом необходимости интеграции с существующими корпоративными системами, обеспечения безопасности данных и поддержания высокой производительности при увеличении нагрузки. Архитектура приложения представлена на рис. 1. На данной схеме изображены модули приложения и их взаимодействие.

### Результаты работы и перспективы развития

На текущий момент в рамках проекта удалось реализовать значительные улучшения в процессе администрирования собеседований, что значительно повысило эффективность работы HR департамента. В частности, была внедрена автоматизация назначения собеседова-

## Заключение

ний, интегрированная с корпоративными календарями Microsoft Outlook, что позволяет системе автоматически проверять доступность инженеров для участия в собеседованиях. Важной частью проекта стало разработка Telegram-бота, который выполняет функции отправки уведомлений, подтверждения участия инженеров в собеседованиях и сбора обратной связи после их завершения.

В ближайшем будущем планируется значительное расширение функциональности системы. Одним из ключевых направлений станет разработка веб-интерфейса для Нанимающего менеджера, который позволит ему удобно управлять процессом собеседований, отслеживать статус кандидатов и получать аналитику по результатам. Этот интерфейс будет интегрирован с уже существующими компонентами системы, обеспечивая синхронизацию данных и легкость использования.

Еще одним важным направлением развития станет интеграция системы с программой поощрений сотрудников. Это позволит автоматически учитывать активность инженеров в процессе собеседований и на основе этих данных предоставлять бонусы во внутреннем магазине, что станет дополнительным мотивирующим фактором для сотрудников и повысит их вовлеченность в процесс найма.

Эти будущие доработки направлены на создание более комплексной и интегрированной системы, которая не только автоматизирует текущие процессы, но и обеспечивает дополнительные возможности для управления и мотивации сотрудников, что в конечном итоге приведет к улучшению качества найма и повышению эффективности работы компании в целом.

В результате проведенного исследования и разработки был создан программный продукт, предназначенный для автоматизации процессов HR департамента предприятия. Сервис позволил автоматизировать этапы процесса проведения собеседований, такие как назначение интервью, распределение участников собеседований, уведомление сотрудников и сбор обратной связи.

Программный продукт был реализован с использованием современных технологий, таких как язык программирования Python, база данных PostgreSQL, контейнеризация через Docker и использование чат-бота для мессенджера Telegram. В ходе разработки был проведен анализ существующих HR Tech решений, который показал необходимость создания собственного решения, соответствующего специфическим требованиям компании.

Результаты тестирования и внедрения показали, что разработанное приложение позволило сократить время Нанимающего менеджера на администрирование собеседований на 60 %, уменьшить количество пропущенных интервью на 20 % и повысить скорость обработки обратной связи на 44 %. Эти улучшения привели к общему увеличению производительности отдела кадров на 15 %.

Практическая значимость работы подтверждается успешной интеграцией приложения в корпоративную среду и положительными отзывами конечных пользователей. В дальнейшем возможна доработка и расширение функционала системы, включая интеграцию с другими корпоративными инструментами и платформами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Vries P. The Effects of Automation on HR Strategies of Manufacturing Businesses: дис. — 2023.
2. Ivanova I.A. et al. Evolution Of Process Of Automation Of Hr Departments Of Russian Organizations // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. — 2019.
3. Uppin C. Study of benefits of HR automation in organisations // International Journal of Academic Research and Development. — 2017. — Т.2. — №.6. — С.254–257.
4. Egorov E.E. et al. Opportunities and Prospects of Using Chatbots in HR // Scientific and Technical Revolution: Yesterday, Today and Tomorrow. — Springer International Publishing, 2020. — С. 782–791.
5. Iwamoto T. Development of the HRTech market in Japan // 2019 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). — IEEE, 2019. — С. 1–4.
6. KORUS Consulting [Электронный ресурс] // Битрикс24: [сайт]. URL: <https://bitrix24.korusconsulting.ru/> (дата обращения: 10.08.2024).
7. Talantix [Электронный ресурс] // Talantix: [сайт]. URL: <https://talantix.ru/> (дата обращения: 10.08.2024).
8. Python Documentation [Электронный ресурс] // Python: [сайт]. URL: <https://docs.python.org/3/> (дата обращения: 10.08.2024).
9. Flask Documentation [Электронный ресурс] // Flask: [сайт]. URL: <https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/> (дата обращения: 17.08.2024).
10. Aiogram Documentation [Электронный ресурс] // Aiogram: [сайт]. URL: <https://docs.aiogram.dev/> (дата обращения: 10.08.2024).
11. PostgreSQL Documentation [Электронный ресурс] // PostgreSQL: [сайт]. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата обращения: 10.08.2024).
12. Redis Documentation [Электронный ресурс] // Redis: [сайт]. URL: <https://redis.io/docs/latest/> (дата обращения: 10.08.2024).
13. Docker Documentation [Электронный ресурс] // Docker: [сайт]. URL: <https://docs.docker.com/> (дата обращения: 10.08.2024).
14. Kubernetes Documentation [Электронный ресурс] // Kubernetes: [сайт]. URL: <https://kubernetes.io/docs/home/> (дата обращения: 10.08.2024).
15. GitLab Documentation [Электронный ресурс] // GitLab: [сайт]. URL: <https://docs.gitlab.com/> (дата обращения: 10.08.2024).

# РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

## DEVELOPMENT OF A SERVICE FOR ASSESSING THE QUALITY OF THE URBAN ENVIRONMENT

**I. Malinin  
A. Pantykhin  
V. Gladun  
S. Molodyakov**

*Summary.* The article deals with the development of a service for assessing the quality of Urban environment quality assessment service aimed at integrating various indicators affecting the comfort and health of urban residents. The system based on microservice architecture, integrates data on pedestrian accessibility, level of greenery, noise and air pollution. As part of the research, the requirements for the system, developed the architecture, selected suitable technologies and realized a prototype service. A description of the key components of the system and methodology of its development.

*Keywords:* urban environment, microservice architecture, walkability, green zones, noise pollution, geoinformation systems.

**Малинин Илья Игоревич**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
malinin.ilja@gmail.com

**Пантюхин Андрей Максимович**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
panandafog@gmail.com

**Гладун Владимир Вадимович**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
vladimir.gldn@gmail.com

**Молодяков Сергей Александрович**

Д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
molodyakov\_sa@spbstu.ru

*Аннотация.* В статье рассматривается разработка сервиса оценки качества городской среды, направленного на интеграцию различных показателей, влияющих на комфорт и здоровье жителей городов. Система, основанная на микросервисной архитектуре, объединяет данные о пешеходной доступности, уровне озеленения, шумовом и воздушном загрязнении. В рамках исследования были определены требования к системе, разработана архитектура, выбраны подходящие технологии и реализован прототип сервиса. Приводится описание ключевых компонентов системы и методологии её разработки.

*Ключевые слова:* городская среда, микросервисная архитектура, пешеходная доступность, озеленение, шумовое загрязнение, геоинформационные системы.

## Введение

Урбанизация, охватывающая значительные территории и вовлекающая в городской образ жизни всё большее число людей, становится одним из ключевых трендов современности [1]. По данным ООН, более половины населения планеты проживает в городах, и этот показатель продолжает неуклонно расти [2]. Вместе с тем рост городов сопровождается рядом экологических и социальных вызовов, которые оказывают значительное влияние на качество жизни городских жителей [3].

Одной из основных проблем является ухудшение качества городской среды. Загрязнение воздуха, шумовое загрязнение, дефицит зеленых зон, проблемы с доступностью общественных пространств и транспортной инфраструктуры — все эти факторы могут негативно сказываться на здоровье населения, приводя к росту

заболеваемости и снижению общего уровня благополучия [4].

В таких условиях становится критически важным создание инструментов для комплексной оценки качества городской среды. Современные технологии и системы аналитики открывают новые возможности для мониторинга и анализа состояния городских территорий, что позволяет не только выявлять проблемные зоны, но и принимать меры для их улучшения.

В рамках исследования были поставлены и решены следующие задачи: анализ требований к системе, разработка архитектуры информационной системы, выбор методологии разработки и реализация прототипа сервиса оценки качества городской среды. Практическая значимость исследования заключается в создании инструмента, который может быть использован для улучшения качества городской среды и повышения уровня общественного здоровья.

## Обзор предметной области

Качество городской среды — это комплексное понятие, которое включает в себя оценку различных аспектов городской жизни, влияющих на комфорт, здоровье и благополучие населения [5]. В современных городах такие факторы, как экологическая обстановка, доступность общественных пространств, качество транспортной инфраструктуры и уровень безопасности, играют ключевую роль в формировании общего уровня жизни.

Городская среда оказывает прямое воздействие на здоровье жителей. Высокий уровень загрязнения воздуха и шума [6], недостаток зелёных насаждений [7] и мест для физической активности [8] могут привести к увеличению случаев сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, повышению уровня стресса и других негативных последствий для здоровья. Таким образом, оценка и улучшение качества городской среды становятся важными задачами для городских планировщиков и властей.

Исследования показывают, что создание благоприятных условий в городских районах, таких как наличие парков, скверов, удобных пешеходных маршрутов и чистого воздуха, может существенно улучшить здоровье и благополучие горожан [9]. В этом контексте, системы для мониторинга и оценки различных параметров городской среды играют важную роль в управлении и планировании городских территорий.

## Обзор существующих решений

На данный момент на рынке представлены различные решения, ориентированные на мониторинг и оценку качества городской среды. Однако большинство из них имеют ограниченный функционал и сосредоточены на оценке отдельных параметров, таких как качество воздуха или уровень шума.

Примером таких решений могут служить сервисы AccuWeather Air Quality Map и Яндекс Карты. AccuWeather Air Quality Map предоставляет данные только о качестве воздуха, тогда как Яндекс Карты позволяют оценивать транспортную доступность и качество городской среды преимущественно визуально, без учёта комплексных экологических показателей.

Существующие системы, как правило, предоставляют пользователям информацию по ограниченному числу параметров, что затрудняет получение целостного представления о состоянии городской среды. Для решения этой проблемы необходимо создание комплексного сервиса, который бы учитывал различные аспекты городской жизни, предоставляя пользователям обширные и детализированные данные.

## Цели и задачи

На основе анализа предметной области и существующих решений можно сформулировать основные цели и задачи разработки комплексного сервиса оценки качества городской среды. Основной целью является создание прототипа системы, которая интегрирует данные о пешеходной доступности [10], уровне озеленения, шумовом и воздушном загрязнении, а также предоставляет пользователям возможность получения комплексной оценки качества городской среды в различных районах города.

Задачи разработки включают:

- Определение требований к системе.
- Разработка архитектуры информационной системы.
- Выбор и использование соответствующих методологий и технологий для реализации системы.
- Тестирование и оценка эффективности разработанной системы на примере реальных данных.

## Проектирование системы

Процесс проектирования сервиса начинается с определения требований, которые она должна удовлетворять. На данном этапе важно собрать и проанализировать все необходимые функциональные и нефункциональные требования к системе.

Сбор требований осуществлялся через интервью с будущими пользователями и анализ «узких мест» существующих решений. Важным источником данных являются также нормативные документы и стандарты.

Функциональные требования:

1. Сбор данных из различных источников: Система должна обеспечивать интеграцию с несколькими источниками данных, включая геоинформационные системы (ГИС), сенсоры окружающей среды и внешние API, предоставляющие данные о качестве воздуха, уровне шума и других параметрах.
2. Анализ и обработка данных: Система должна обрабатывать и анализировать собранные данные в реальном времени, предоставляя пользователям актуальную информацию о состоянии городской среды.
3. Интерфейс для пользователей: Необходимо разработать удобный и интуитивно понятный пользовательский интерфейс, позволяющий визуализировать данные, запрашивать информацию о состоянии конкретных районов.

Нефункциональные требования:

1. Масштабируемость: Система должна быть способна поддерживать увеличивающееся количество

пользователей и объем данных без значительного ухудшения производительности.

2. Надежность и отказоустойчивость: Система должна обеспечивать высокую степень надежности и устойчивости к сбоям, минимизируя время простоя.
3. Производительность: Время отклика системы должно оставаться в пределах допустимых норм даже при высокой нагрузке.

При проектировании системы был проведен анализ возможных архитектурных подходов. Рассматривались два основных варианта: монолитная и микросервисная архитектуры. Учитывая требования к системе, был выбран микросервисный подход. Этот выбор обусловлен необходимостью обеспечения масштабируемости, гибкости и устойчивости к сбоям в условиях работы с большими объемами данных и высокой нагрузкой.

На рисунке 1 представлена диаграмма архитектуры информационной системы. Система включает в себя микросервисы, отвечающие за работу с ГИС, работу с пользовательскими данными, сбор и обработку данных о качестве воздуха, уровне шума, пешеходной доступности и озеленении. Эти микросервисы работают независимо друг от друга, что позволяет их легко масштабировать и обновлять без воздействия на другие части системы.

Для обеспечения эффективного взаимодействия между микросервисами используется Apache Kafka [11], которая служит шиной данных (Data Bus). Через Kafka микросервисы обмениваются сообщениями в режиме реального времени, что позволяет синхронизировать данные и координировать действия между различными частями системы.

Наряду с этим, в системе присутствует модуль мониторинга и логирования, который обеспечивает контроль за состоянием всех компонентов системы.

### Разработка системы

Для разработки системы оценки качества городской среды был выбран набор языков программирования и технологий, отвечающих высоким требованиям к производительности, масштабируемости и надежности. Основным языком программирования для разработки Backend-приложения стал Go (Golang) [12]. Go был выбран за его высокую производительность, простоту в использовании и встроенную поддержку конкурентности через горутины, что делает его идеальным для создания микросервисов.

Frontend-приложение было разработано на языке TypeScript [13] с использованием фреймворка React [14].

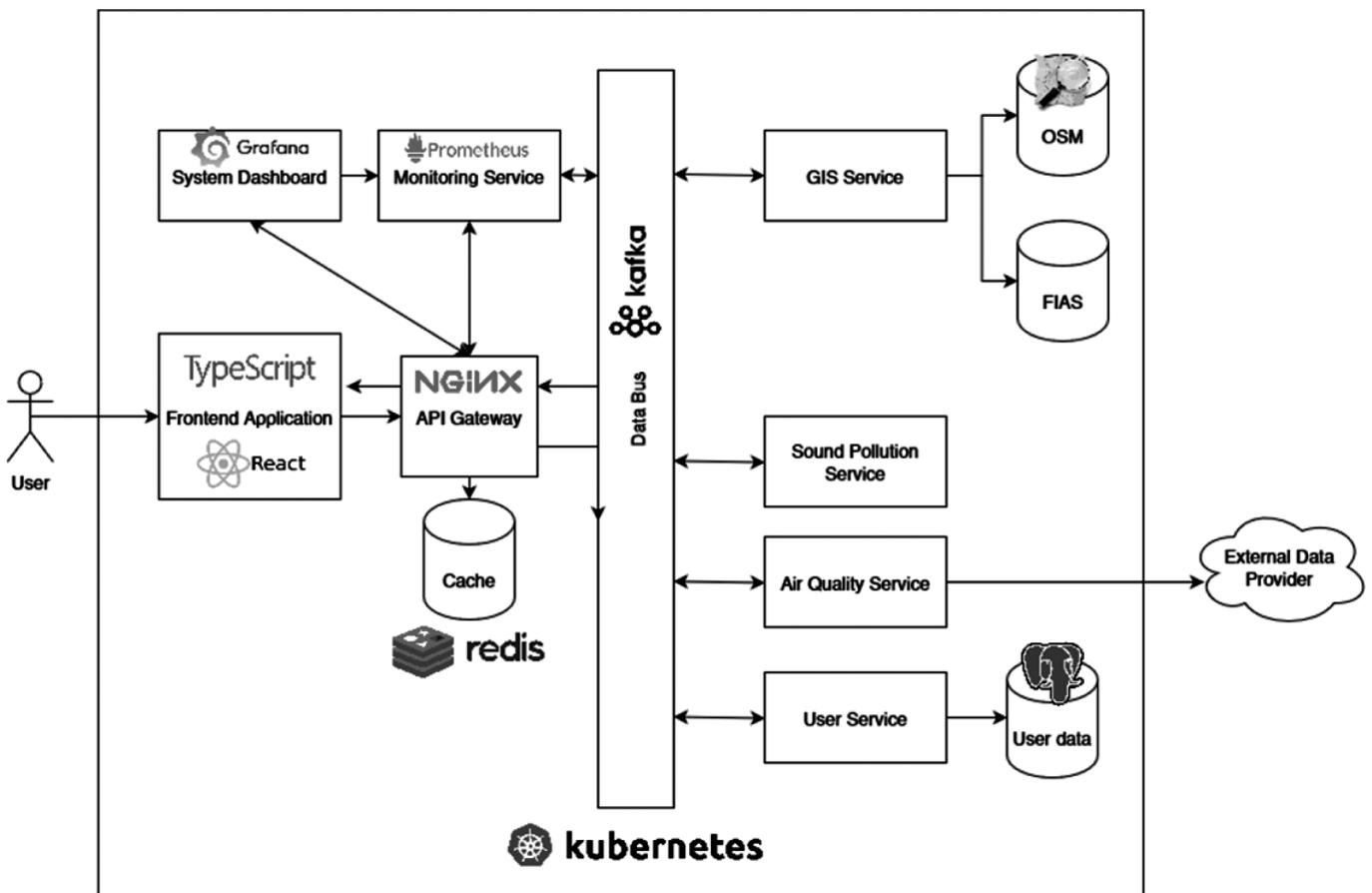


Рис. 1. Архитектура сервиса

React позволяет эффективно управлять состоянием приложения и обеспечивает плавную работу даже при визуализации больших объемов данных. Разработанный пользовательский интерфейс представлен на рис. 2

Для работы с данными была выбрана PostgreSQL [15] как основная реляционная база данных. PostgreSQL имеет возможности для работы с большими объемами данных и поддерживает расширение PostGIS для рабо-



Parameter	Value
Address	196084 г Санкт-Петербург, вн.тер.г. муниципальный округ Измайловское, пр-кт Московский, д. 73 к. 4 литера А
Coordinates	59.90520,30.31581
Walkability	6
Transport Availability	10
Green Zones	4
Noise Pollution	>65 dB
Air Quality	Low
Overall	Below Average

Рис. 2. Пользовательский интерфейс

ты с геоинформационными данными. Для ускорения доступа к часто запрашиваемым данным использовалась NoSQL БД Redis [16] — высокопроизводительная in-memory база данных, которая помогает снизить задержки и повысить общую производительность системы.

Для мониторинга и логирования системы были использованы Prometheus [17] и Grafana [18]. Эти инструменты позволили настроить сбор и визуализацию метрик с микросервисов, что обеспечило возможность оперативного контроля за состоянием системы.

Интеграция всех компонентов системы была организована с использованием CI/CD пайплайна, реализованного в GitLab [19]. Этот пайплайн автоматизировал ключевые процессы, включая сборку, тестирование и развертывание микросервисов в кластере Kubernetes [20], что существенно ускорило цикл разработки. В GitLab CI/CD для каждого микросервиса были настроены отдельные пайплайны, которые запускались автоматически при каждом коммите в репозиторий.

Для оценки качества городской среды в системе были реализованы три ключевых показателя: Walkability (пешеходная доступность), уровень шума и зеленые зоны. Эти показатели позволяют комплексно оценивать условия городской среды и предоставлять пользователям актуальную информацию о ее качестве.

Walkability (пешеходная доступность) — это показатель, который оценивает удобство и комфортность передвижения пешком в определенном районе города. Для подсчета Walkability система использует данные из OpenStreetMap (OSM) [21], которые включают в себя информацию о дорожной сети, пешеходных маршрутах, расположении общественных объектов и инфраструктуры. Основные параметры, учитываемые при расчете, включают доступность магазинов, школ, парков и других объектов инфраструктуры в пределах пешей доступности.

Методология расчета показателя пешеходной доступности (Walkability) основана на определении количества объектов инфраструктуры, которые можно достичь пешком за 10 минут. Для этого территория представляется в виде ориентированного графа, где вершины соответствуют перекресткам и объектам инфраструктуры, а ребра — дорогам между ними. Каждому ребру присваивается вес, соответствующий времени, необходимому для прохождения данного участка пути, рассчитанному на основе средней скорости пешего передвижения.

Алгоритм Дейкстры используется для поиска всех достижимых вершин на графе в пределах 10 минут движения пешком, эквивалентных 830 метрам, по тротуару или пешеходным дорожкам. По завершении работы алгорит-

ма формируется список объектов инфраструктуры, доступных в заданный интервал времени. Для расчета итогового показателя Walkability учитываются различные категории объектов, каждая из которых имеет свой вес (например, парки и скверы — 1, магазины — 0,2). Итоговая оценка, варьирующаяся от 0 до 10, определяется путем суммирования количества объектов, умноженных на их вес.

Для приблизительной оценки пикового уровня шума в системе используются константы, поскольку в нашем распоряжении отсутствуют сенсоры для прямого измерения шума и данные для обучения моделей ИИ [22]. Источниками шума считаются дороги разных типов, промышленные зоны и шумные точки притяжения, такие как бары и стадионы, информация о которых выгружается из OpenStreetMap. Каждый объект имеет фиксированный радиус воздействия, разделенный на три зоны шумового загрязнения: L1 (более 65 дБ), L2 (от 55 до 64,9 дБ) и L3 (от 45 до 54,9 дБ).

Для расчета уровня шума система выбирает все объекты в радиусе до 500 метров от заданной точки — это максимальное расстояние для самой шумной зоны (L1) у объектов типа «highway». На основе расстояния до каждого объекта определяется наихудшая зона воздействия, которая затем применяется к запрашиваемой точке. Хотя этот метод не учитывает особенности рельефа и физику распространения шума, он предоставляет базовое представление об уровне шумового загрязнения, компенсируя отсутствие сенсоров и данных для более точного моделирования.

### Оценка результатов работы

Оценка результатов работы системы проводилась по нескольким ключевым критериям, включающим точность расчета показателей, производительность системы и удобство использования для конечных пользователей. Основное внимание соответствию реальным условиям городской среды.

Для проверки точности расчетов показателей, таких как Walkability, уровень шума и зеленые зоны, система была протестирована на различных участках города с разной плотностью застройки и инфраструктуры. Результаты оценки пешеходной доступности сравнивались с данными, полученными в результате ручного расчета. В целом, система показала высокую степень соответствия расчетных данных реальной ситуации, особенно в районах с развитой инфраструктурой.

Касательно оценки уровня шума результаты также продемонстрировали удовлетворительную точность, несмотря на использование эмпирических моделей вместо реальных сенсоров. Зоны шумового загрязне-

ния, рассчитанные системой, в большинстве случаев совпадали с наблюдаемыми значениями в аналогичных условиях, хотя в некоторых случаях были обнаружены отклонения из-за неучтенных факторов, таких как особенности рельефа, застройка и плотность зелёных насаждений.

### Заключение

В ходе работы над проектом была разработана и реализована система оценки качества городской среды, которая позволяет пользователям получать информацию о пешеходной доступности, уровне шума и степени озеленения в различных районах города.

Несмотря на успешную реализацию проекта, есть ряд аспектов, которые могут быть улучшены в дальнейшем.

В частности, использование сенсоров для прямого измерения уровня шума и других параметров могло бы существенно повысить точность расчетов и достоверность предоставляемой информации. Также перспективным направлением является расширение функционала системы, например, за счет включения новых показателей и возможностей для более детализированного анализа городской среды.

В целом, разработанная система показала свою практическую значимость и потенциал для дальнейшего развития. Она может быть полезна как для городских планировщиков и властей, принимающих решения по улучшению городской инфраструктуры, так и для обычных граждан, стремящихся улучшить качество своей жизни, выбирая более благоприятные районы для проживания и работы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kundu D., Pandey A.K. World urbanisation: trends and patterns // *Developing national urban policies: Ways forward to green and smart cities*. — 2020. — С. 13–49.
2. UN-Habitat World Cities Report [Электронный ресурс] // UN-Habitat: [сайт]. URL: <https://unhabitat.org/wcr/> (дата обращения: 10.08.2024).
3. Zhang Z. et al. How does urbanization affect public health? New evidence from 175 countries worldwide // *Frontiers in Public Health*. — 2023. — Т. 10. — С. 1096964.
4. Grover A., Singh R.B. Urban health and wellbeing. — 2020.
5. Pineo H., Rydin Y. Cities, health and well-being. — 2018.
6. Akomolafe O.O. et al. Air quality and public health: a review of urban pollution sources and mitigation measures // *Engineering Science & Technology Journal*. — 2024. — Т. 5. — №. 2. — С. 259–271.
7. Nguyen P.Y. et al. Green space quality and health: a systematic review // *International journal of environmental research and public health*. — 2021. — Т. 18. — №. 21. — С. 11028.
8. Tainio M. Et al. Air pollution, physical activity and health: A mapping review of the evidence // *Environment international*. — 2021. — Т. 147. — С. 105954.
9. Mouratidis K. Urban planning and quality of life: A review of pathways linking the built environment to subjective well-being // *Cities*. — 2021. — Т. 115. — С. 103229.
10. Baobeid A., Коç M., Al-Ghamdi S. G. Walkability and its relationships with health, sustainability, and livability: elements of physical environment and evaluation frameworks // *Frontiers in Built Environment*. — 2021. — Т. 7. — С. 721218.
11. Apache Kafka Documentation [Электронный ресурс] // Apache Kafka: [сайт]. URL: <https://kafka.apache.org/documentation/> (дата обращения: 10.08.2024).
12. Go Documentation [Электронный ресурс] // Go: [сайт]. URL: <https://go.dev/doc/> (дата обращения: 10.08.2024).
13. TypeScript Documentation [Электронный ресурс] // TypeScript: [сайт]. URL: <https://www.typescriptlang.org/docs/> (дата обращения: 10.08.2024).
14. React Documentation [Электронный ресурс] // React: [сайт]. URL: <https://react.dev/learn> (дата обращения: 10.08.2024).
15. PostgreSQL Documentation [Электронный ресурс] // PostgreSQL: [сайт]. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата обращения: 10.08.2024).
16. Redis Documentation [Электронный ресурс] // Redis: [сайт]. URL: <https://redis.io/docs/latest/> (дата обращения: 10.08.2024).
17. Prometheus Documentation [Электронный ресурс] // Prometheus: [сайт]. URL: <https://prometheus.io/docs/> (дата обращения: 10.08.2024).
18. Grafana Documentation [Электронный ресурс] // Grafana: [сайт]. URL: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/> (дата обращения: 10.08.2024).
19. GitLab Documentation [Электронный ресурс] // GitLab: [сайт]. URL: <https://docs.gitlab.com/> (дата обращения: 10.08.2024).
20. Kubernetes Documentation [Электронный ресурс] // Kubernetes: [сайт]. URL: <https://kubernetes.io/docs/home/> (дата обращения: 10.08.2024).
21. OpenStreetMap [Электронный ресурс] // OpenStreetMap: [сайт]. URL: <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения: 10.08.2024).
22. Yang W. et al. Evaluation of urban traffic noise pollution based on noise maps // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. — 2020. — Т. 87. — С. 102516.

# СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ В УСЛОВИЯХ МЕГАПОЛИСА

## MONITORING SYSTEMS FOR THE QUALITY OF MEDICAL SERVICES IN A MEGALOPOLIS

**A. Markelova  
O. Romashkova  
S. Chiskidov**

*Summary.* The article discusses the problem of improving the quality and effectiveness of the process of monitoring the quality of medical services. To solve this problem, it is proposed to develop new models, methods and algorithms for designing specialized software systems. Also, an overview of existing information systems solving the problems of monitoring the quality of medical services, substantiates the relevance of the monitoring problem and formulates requirements for the developed information system.

*Keywords:* medicine, information system, medical services, patients.

**Маркелова Анастасия Вячеславовна**  
Аспирант, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет»  
anastat.zubo@mail.ru

**Ромашкова Оксана Николаевна**  
Доктор технических наук, профессор, профессор, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ», г. Москва  
ox-rom@yandex.ru

**Чискидов Сергей Васильевич**  
Кандидат технических наук, доцент, профессор, ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», Химки  
chis69@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассматривается проблема повышения качества и результативности процесса мониторинга качества оказания медицинских услуг. Для решения этой проблемы предлагается разработать новые модели, методы и алгоритмы проектирования специализированных программных систем. Также приведен обзор существующих информационных систем, решающих задачи мониторинга качества оказания медицинских услуг, обоснована актуальность проблемы мониторинга и сформулированы требования к разрабатываемой информационной системе.

*Ключевые слова:* медицина, информационная система, медицинские услуги, пациенты.

### Введение

В современном мире, где мегаполисы становятся центрами повышенной концентрации населения и инновационной деятельности, качество медицинских услуг выходит на передний план как один из ключевых факторов обеспечения здоровья граждан. Разработка эффективной системы мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса является актуальной задачей, которая требует комплексного подхода и интеграции современных технологий и методик анализа данных. Это обусловлено не только стремлением улучшить здоровье населения, но и необходимостью оптимизации работы медицинских учреждений, сокращения издержек и повышения общей эффективности системы здравоохранения.

На данный момент наблюдаются массовые попытки проектирования специализированных программных систем, но разработка эффективных программных систем мониторинга качества оказания медицинских услуг является достаточно сложной и комплексной задачей, требующей научного исследования и обоснования ре-

шений [1, 2]. Для того, чтобы решить данную задачу необходимо определить трудности мониторинга качества оказания медицинских услуг, провести оценку существующих моделей, методов и алгоритмов проектирования программных систем управления данными мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса.

Изучение этой проблемы важно по следующим причинам:

- обеспечение высокого качества медицинских услуг;
- улучшение здоровья населения;
- повышение удовлетворённости пациентов качеством обслуживания;
- контроль и оптимизация работы медицинских учреждений;
- снижение затрат на здравоохранение за счёт предотвращения ошибок и повышения эффективности работы врачей.

Цель данной статьи — осветить проблематику разработки системы мониторинга, выявить основные тенден-

ции и вызовы, с которыми сталкиваются разработчики и пользователи таких систем в крупных городах, а также предложить возможные пути решения этих задач на основе анализа существующих методов и практик [3, 4].

### 1. Оценка функциональных возможностей систем мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса

Функциональные возможности систем мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса оцениваются по критериям, установленным Федеральным законом от 21 июля 2014 г. № 256-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам проведения независимой оценки качества оказания услуг организациями в сфере культуры, социального обслуживания, охраны здоровья и образования». Эти критерии включают открытость и доступность информации о медицинской организации, комфортность условий предоставления услуг, время ожидания, доброжелательность, вежливость и компетентность персонала, а также удовлетворённость пациентов оказанными услугами [5, 6].

Управлением мониторингом оказания медицинских услуг занимается Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения (Росздравнадзор). Росздравнадзор подчиняется Конституции Российской Федерации, федеральным конституционным законам, федеральным законам, актам Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации, международным договорам Российской Федерации, актам Министерства здравоохранения Российской Федерации и Положению «О Федеральной службе по надзору в сфере здравоохранения», утверждённому постановлением Правительства Российской Федерации от 30.06.2004 № 323.

Основные задачи Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения:

1. Контроль и надзор в сфере социального развития.
2. Контроль и надзор в сфере оказания медицинской помощи населению.
3. Обращение лекарственных средств и изделий медицинского назначения.
4. Организация внутренней деятельности Федеральной службы.

Отдел мониторинга является структурным подразделением Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения [7, 8].

Основные задачи отдела мониторинга:

- информирование граждан о качестве оказания медицинских услуг;
- оценка условий оказания медицинских услуг (доступность информации, доступность услуг, ком-

фортность, время ожидания, компетентность персонала, вежливость и доброжелательность);

- оценка удовлетворённости пациентов качеством медицинских услуг;
- выявление и устранение негативных факторов, влияющих на качество оказания медицинской помощи;
- повышение организованности при оказании медицинской помощи;
- развитие диалога и сотрудничества между медицинскими учреждениями и институтами гражданского общества.

### 2. Оценка функциональных возможностей информационных систем для мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса

На сегодняшний день в России существует несколько систем мониторинга качества оказания медицинских услуг. Эти системы позволяют не только мониторить качество медицинских услуг, но и управлять процессами в здравоохранении, анализировать медицинскую статистику, контролировать расходы и оптимизировать работу медицинских учреждений.

Авторами был выполнен анализ следующих информационных систем: Федеральная информационная система «Единая государственная информационная система в области здравоохранения» (ЕГИСЗ), Российский регистр медицинских работников, Информационно-аналитическая система обеспечения деятельности.

Одной из ключевых систем в России является Федеральная информационная система «Единая государственная информационная система в области здравоохранения» (ЕГИСЗ), которая предназначена для сбора, обработки, хранения, предоставления и распространения информации в области здравоохранения.

Другой важной системой является Российский регистр медицинских работников, который позволяет отслеживать квалификацию и сертификацию медицинских специалистов, что также влияет на качество оказываемых услуг.

Кроме того, в России функционирует Информационно-аналитическая система обеспечения деятельности, которая выполняет организационно-методическое обеспечение сбора, обработки и анализа данных в здравоохранении, медицинскую статистику и цифровую трансформацию отрасли.

Эти системы позволяют не только мониторить качество медицинских услуг, но и управлять процессами в здравоохранении, анализировать медицинскую статистику.

стику, контролировать расходы и оптимизировать работу медицинских учреждений.

1. *Единая государственная информационная система в области здравоохранения (ЕГИСЗ)*: ЕГИСЗ представляет собой комплексную информационную систему, которая обеспечивает сбор, обработку и хранение данных о здоровье населения, медицинских услугах, результатах лечения и профилактики заболеваний. Система позволяет в реальном времени отслеживать эффективность работы медицинских учреждений, а также обеспечивает прозрачность и доступность информации для пациентов и медицинских работников.

Вот некоторые ключевые аспекты ЕГИСЗ:

1. Архитектура системы:
  - Модульная структура, позволяющая гибко расширять функциональность.
  - Использование облачных технологий для обеспечения масштабируемости и доступности.
  - Применение принципов SOA (Service-Oriented Architecture) для интеграции различных сервисов и баз данных.
2. Безопасность данных:
  - Реализация многоуровневой системы защиты информации.
  - Использование шифрования для передачи и хранения данных.
  - Соблюдение законодательства о защите персональных данных (например, Федеральный закон №152-ФЗ).
3. Интеграция данных:
  - Сбор и обработка информации от различных медицинских учреждений и лабораторий.
  - Обеспечение совместимости с международными стандартами медицинской информатики (например, HL7, ICD-10).
4. Интерфейс пользователя:
  - Разработка удобных веб-интерфейсов и мобильных приложений для врачей и пациентов.
  - Визуализация данных с помощью дашбордов и отчетов для упрощения анализа.
5. Аналитика и отчетность:
  - Внедрение инструментов BI (Business Intelligence) для анализа больших объемов данных.
  - Автоматизация процессов создания отчетов по ключевым показателям эффективности (KPI).
6. Поддержка и обновление:
  - Непрерывное обновление системы для соответствия изменяющимся требованиям и стандартам.
  - Организация технической поддержки пользователей системы.

Разработка и поддержка такой системы требует команды высококвалифицированных специалистов, вклю-

чая разработчиков, аналитиков, архитекторов систем, специалистов по информационной безопасности и других. Основной задачей является обеспечение надежности, безопасности и удобства использования системы, а также её способности адаптироваться к постоянно меняющимся условиям в сфере здравоохранения.

2. *Российский регистр медицинских работников*. Эта система создана для контроля за квалификацией медицинских специалистов. В регистре содержится информация о всех врачах, их специализации, квалификации, сертификатах и стаже работы. Это позволяет не только обеспечить соответствие медицинского персонала установленным стандартам, но и повысить доверие пациентов к качеству оказываемых услуг.

Вот некоторые ключевые функции этой системы:

1. Учет квалификации: Регистр содержит данные о квалификации и специализации всех зарегистрированных медицинских работников, что позволяет контролировать соответствие их профессиональных навыков требованиям здравоохранения.
2. Сертификация: Система используется для проведения процедуры сертификации медицинских работников, подтверждая их право на осуществление профессиональной деятельности.
3. Образование и повышение квалификации: Регистр отслеживает информацию о прохождении медицинскими работниками обучения и курсов повышения квалификации.
4. Доступность данных: Данные регистра доступны как для медицинских учреждений, так и для пациентов, что повышает прозрачность работы медицинских специалистов.
5. Интеграция с другими системами: Регистр интегрирован с другими информационными системами в сфере здравоохранения, что обеспечивает целостность и актуальность данных.
6. Защита персональных данных: Система обеспечивает защиту персональных данных медицинских работников в соответствии с законодательством РФ.
7. Мониторинг и аналитика: Регистр позволяет проводить анализ данных для оценки потребностей в медицинских кадрах и планирования мер по их подготовке и распределению.

Эта система играет важную роль в обеспечении качества медицинских услуг и повышении уровня здравоохранения в России.

3. *Информационно-аналитическая система обеспечения деятельности*: Информационно-аналитическая система обеспечения деятельности в здравоохранении — это медицинский инфор-

мационно-аналитический центр (МИАЦ), который собирает, обрабатывает и анализирует данные в здравоохранении, медицинскую статистику и управляет информацией в сфере здравоохранения субъекта Российской Федерации.

Ключевые особенности и функции информационно-аналитической системы обеспечения деятельности в здравоохранении:

1. Сбор и обработка данных: сбор, хранение и обработка информации о пациентах, врачах, медицинских учреждениях и других участниках системы здравоохранения.
2. Медицинская статистика: анализ и предоставление статистических данных о заболеваемости, смертности, распространённости заболеваний и эффективности лечения.
3. Управление информацией: обеспечение доступа к медицинским данным пациентов, истории болезни, результатам анализов и другой информации, необходимой для оказания медицинской помощи.
4. Электронный документооборот: автоматизация процессов обработки и хранения медицинских документов, таких как истории болезни, рецепты и результаты обследований.
5. Телемедицина: предоставление удалённых консультаций и диагностики с использованием современных технологий, таких как видеосвязь и электронные медицинские карты.
6. Мониторинг здоровья населения: отслеживание динамики заболеваемости, смертности и других

показателей здоровья населения в регионе или стране.

7. Оценка качества медицинской помощи: анализ и оценка эффективности работы медицинских учреждений и врачей на основе статистических данных и отзывов пациентов.
8. Прогнозирование и планирование: разработка и реализация стратегий развития системы здравоохранения, определение потребностей в ресурсах и кадрах.
9. Интеграция с другими информационными системами: возможность обмена данными с другими государственными и частными системами, такими как страховые компании, аптеки и образовательные учреждения.

Эти системы играют важную роль в обеспечении качества медицинских услуг в России, позволяя проводить анализ больших объемов данных, оптимизировать процессы внутри медицинских учреждений и повышать общую эффективность системы здравоохранения. В результате анализа существующих систем была разработана таблица (таблица 1).

В процессе исследования было выявлено следующее: данные системы имеют специфические функции, которые трудно приспособить для качественного и полноценного анализа качества медицинских услуг в условиях мегаполиса, так как их главный функционал предназначен для выполнения других аспектов деятельности [10, 11].

На основе сравнительного анализа авторами была предложена новая программная система мониторинга

Таблица 1.

Сравнительный анализ программных систем, используемых для мониторинга качества оказания медицинских услуг

Наименование ИС	Платформа	Основные функции и возможности
ЕГИСЗ	PHP, JavaScript	сбор, хранение и обработка данных о лечебных учреждениях, медработниках и пациентах; обеспечение взаимодействия между организациями и работниками в сфере здравоохранения; повышение уровня обслуживания и доступности медицинских услуг благодаря цифровым технологиям; регистрация всех организаций, имеющих медицинскую лицензию; передача данных об оказанной медпомощи в реестр электронных медицинских документов (РЭМД) в формате CDA; соблюдение сроков и порядка предоставления информации
Российский регистр медицинских работников	PHP, JavaScript	сбор и хранение информации о медицинских работниках; мониторинг и анализ кадрового состава в здравоохранении; предоставление доступа к информации о медицинских работниках для работодателей, пациентов и других заинтересованных сторон; обеспечение взаимодействия между медицинскими организациями и медицинскими работниками; создание условий для повышения квалификации и профессионального развития медицинских работников
Информационно-аналитическая система обеспечения деятельности	1С:Предприятие	сбор и обработка данных о пациентах, врачах и медицинских учреждениях; медицинская статистика и анализ заболеваемости и смертности; управление информацией о пациентах и истории болезни; электронный документооборот и автоматизация обработки медицинских документов; телемедицина и удалённые консультации; мониторинг здоровья населения и отслеживание динамики заболеваемости; оценка качества медицинской помощи и анализ эффективности работы медицинских учреждений; прогнозирование и планирование развития системы здравоохранения; интеграция с другими информационными системами и обмен данными.

качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса (ПСМ КОМУВУМ).

ПСМ КОМУВУМ должна удовлетворять следующим основным функциональным требованиям:

1. Автоматизация ведения базы данных о качестве оказания медицинских услуг, эффективности лечения, уровне удовлетворенности пациентов и др.
2. Автоматизация выполнения оценки процессов и результатов лечения, выявления отклонений и предоставления рекомендаций по улучшению качества.
3. Автоматизация формирования отчетности о результатах мониторинга качества оказания медицинских услуг.
4. Система должна быть масштабируемой и способной обрабатывать большие объемы данных, характерных для мегаполиса.

Для проектирования и создания ПСМ КОМУВУМ необходимы следующие программные средства:

Серверная часть:

1. Сетевая операционная система Microsoft Windows Server 2016 и выше;
  - СУБД Microsoft SQL Server Management Studio;
  - CA ERWin Process&Data Modeler;
  - ARIS Express;
  - СУБД и сервер 1С: Предприятие 8.3.

Клиентская часть:

- ОС Microsoft Windows 7 и выше;

— Любой Web-браузер, совместимый с установленной ОС.

Процесс мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса включает следующие этапы:

- Определение критериев оценки качества медицинских услуг.
- Сбор и анализ данных о качестве услуг, предоставляемых медицинскими организациями.
- Оценка удовлетворенности пациентов качеством услуг.
- Проведение независимой оценки качества условий оказания услуг медицинскими организациями.
- Информирование граждан о результатах мониторинга и предоставление рекомендаций по улучшению качества услуг.

### Заключение

Авторами был выполнен анализ существующих информационных систем, решающих задачи мониторинга качества оказания медицинских услуг, обоснована актуальность проблемы мониторинга.

Предложена программная система мониторинга качества оказания медицинских услуг в условиях мегаполиса, а также определены её функциональные возможности и требования к серверной и пользовательской частям.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ponomareva L.A., Romashkova O.N. Training of specialists in on-board communication systems. // В сборнике: 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2020. С. 9078594.
2. Волк В.К. Базы данных. Проектирование, программирование, управление и администрирование — СПб.: Издательство Лань, 2020 — 244 с.
3. Назаров С.В. Архитектура и проектирование программных систем. — Москва: ИНФРА-М, 2018. — 34 с.
4. 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.
5. Новиков Б.А. Основы технологий баз данных. — Москва: Издательство ДМК Пресс, 2019. — 240 с.
6. Осипов Д.Л. Технологии проектирования баз данных. — Москва: Издательство ДМК Пресс, 2019. — 498 с.
7. Приказ Минздрава России от 07.07.2015 № 422ан «Об утверждении критериев оценки качества медицинской помощи» // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти от 26 октября 2015 г. № 43.
8. Радченко М.Г. 1С: Предприятие 8.3. Практическое пособие для разработчика. — М.: ООО «1С-Паблишинг», СПб: Питер. 2018. — 964 с.
9. Пономарева Л.А., Ромашкова О.Н., Белякова А.Н., Заболотникова В.С. Автоматизация процесса многокритериального ранжирования студентов с помощью электронного портфолио. // Вестник Донского государственного технического университета. 2019. Т. 19. № 4. С. 382–388.
10. Захаров Я.В., Федин Ф.О., Ромашкова О.Н. Разработка требований к автоматизированной системе оценивания результатов инновационной деятельности образовательной организации // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 6. С. 96–101.
11. 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.

© Маркелова Анастасия Вячеславовна (anastat.zubo@mail.ru); Ромашкова Оксана Николаевна (ox-rom@yandex.ru); Чискидов Сергей Васильевич (chis69@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ФОРМАТА JSON

**Минков Олег Александрович**

Аспирант, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск  
oaminkov@gmail.com

## A UNIVERSAL DATA MODEL BASED ON THE JSON FORMAT

**O. Minkov**

*Summary.* Today, we deal with a huge amount of different data, so there is a need to create universal models for such data in order to optimize and simplify interaction with it. The purpose of this article is to describe a universal data model based on the JSON format, and to compare the proposed model with existing analogues. The proposed model has a number of advantages, the main of which are: flexibility, ease of understanding, economy in terms of memory occupancy.

*Keywords:* universal data model, data, metadata, JSON, classifier, object, attribute, field.

*Аннотация.* Сегодня наблюдается колоссальный объём разнородных данных, поэтому возникает необходимость в создании универсальных моделей для таких данных с целью оптимизации и упрощения взаимодействия с ними. Целью статьи является описание универсальной модели данных на основе формата JSON, и сравнение предложенной модели с уже существующими аналогами. Предлагаемая модель обладает рядом преимуществ, основными из которых являются: гибкость, простота понимания, экономность с точки зрения занимаемой памяти.

*Ключевые слова:* универсальная модель данных, данные, метаданные, JSON, классификатор, объект, атрибут, поле.

### Введение

На сегодняшний день человечество взаимодействует с колоссальным объёмом разнородных данных, которые необходимо обрабатывать, хранить, получать и передавать. Данные могут быть структурированными и неструктурированными, иметь различные форматы, относиться к разным областям знаний. В связи с этим возникает необходимость в разработке моделей, которые бы описывали те или иные данные, их формат, способ хранения и обработки. Существует множество моделей, которые основаны на реляционных, нереляционных базах данных (графовые, NoSQL), многомерных кубах, форматах на основе языка XML и т.д.

Разнообразие используемых моделей требует создания универсальной модели данных, которая была бы достаточно гибкой, легко понимаемой как машиной, так и человеком, а также простой при использовании. Уже имеются попытки создания универсальной модели на основе формата XML, но есть трудности обработки данных в XML при объёмах данных больше 1 Мбайта. Есть также модели на основе так называемых триплов, когда все данные хранятся в виде набора из трёх полей: идентификатор, название атрибута и значение атрибута. Но в такой модели есть ряд минусов: её тяжело поддерживать, трудно читать человеку или требуется эффективное решение по постоянному преобразованию из плоской структуры в трипл и обратно.

Цель данной работы — предложить универсальную модель данных на основе формата JSON (JavaScript Object Notation), так как этот формат является сейчас

очень популярным и востребованным. Многие языки программирования имеют удобные инструменты для работы с ним, а также данные в JSON намного легче воспринимаются человеком, чем в XML.

### Обзор существующих моделей данных

Рассмотрим некоторые уже существующие универсальные модели данных, базирующиеся на реляционных базах данных и языке XML.

Первая такая модель доступна только на базе СУБД (Система Управления Базами Данных) Oracle и представляет собой структуру иерархически связанных таблиц [1]. Структура такой модели показана на рисунке 1.

Как мы можем наблюдать на рисунке 1, универсальная схема данных на базе Oracle имеет достаточно сложную структуру, состоящую из восьми таблиц, что достаточно много. Это обстоятельство и то, что Oracle — платная СУБД, являются серьёзными недостатками.

Еще одна попытка создания универсальной модели данных была сделана во ВНИИГМИ МЦД [2]. В этой модели выделена совокупность существенных признаков УМД:

1. Использование единого словаря описаний унифицированных атрибутов, в том числе атрибутов метаданных для описания объектов и событий.
2. Применение минимальной атомарной единицы хранения — значения атрибута данных с помощью многомерной схемы представления как для данных, так и метаданных. Многомерная модель

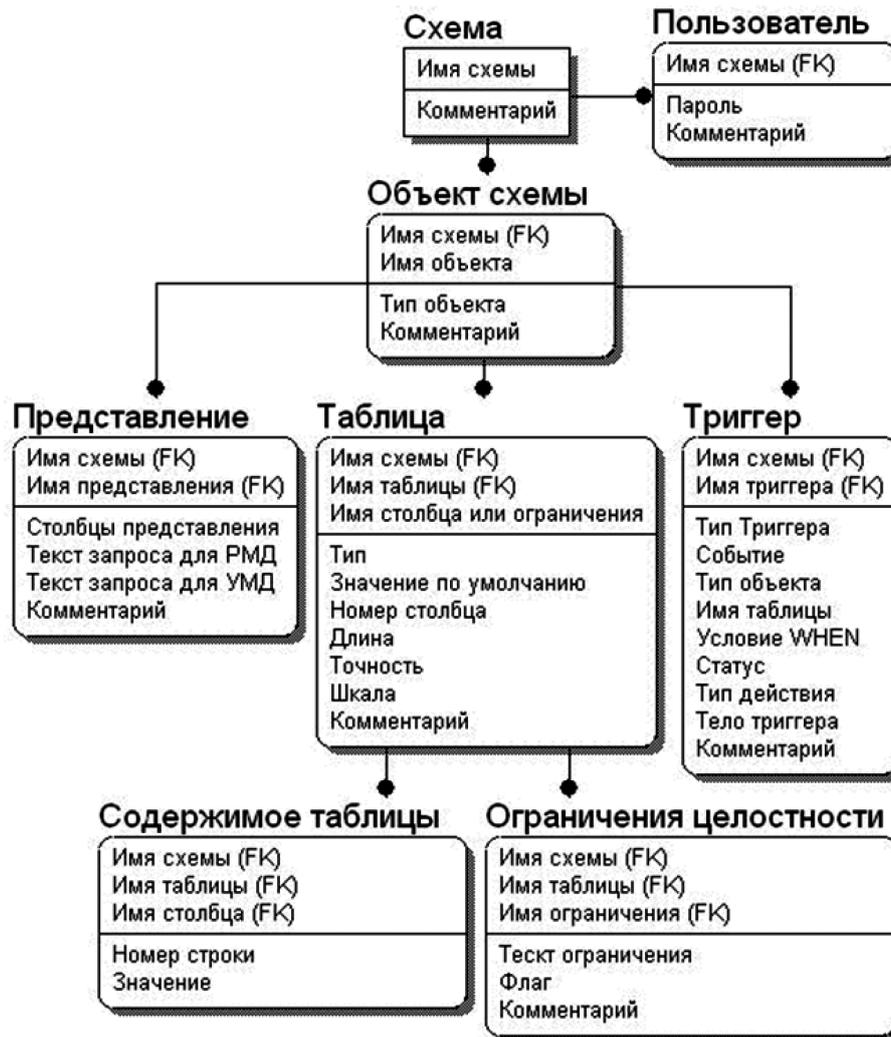


Рис. 1. Универсальная схема данных в СУБД Oracle [1]

- данных позволяет хранить данные в виде трипла (идентификатор записи, имя атрибута, значение атрибута).
3. Создание единой схемы хранения всех классификаторов в одной таблице (ID, код, значение), что позволяет легко добавлять новые значения кодов в существующие классификаторы и новые классификаторы при настройке на предметную область.
  4. Выделение простых сущностей (объекты метаданных, товары и т.п.) в виде отдельных объектов УМД.
  5. Определение этапов жизненного цикла для всех выделяемых сущностей (объектов), предназначенных для хранения в УМД;
  6. Выделение статической справочной (Каталог) и динамической (Факты) информации для каждого объекта в виде отдельных таблиц, связанных между собой и описывающих один объект.
  7. Сохранение связей между таблицами «Каталог» и «Факты», экземплярами различных объектов в виде отдельной таблицы.

8. Хранение информации об объектах БД в виде «технологической информации» и их связях как один из объектов БД — «Сведения об состоянии объектов предметной области в БД».

На рисунке 2 показана предложенная схема универсальной модели данных.

Как видно из рисунка 2, предложенная схема состоит из меньшего числа таблиц и связей, чем схема в СУБД Oracle, рассмотренная ранее. На рисунке 3 продемонстрирован пример заполнения таблиц предложенной схемы.

Подобная структура не имеет строгой иерархической схемы, зависимости обнаруживаются с трудом, кроме того, присутствует некоторая избыточность универсальной модели, основанной на данной структуре.

Существует ещё одна УМД [2, 6]. Структура этой УМД переняла некоторые основы своей предшественницы,



Рис. 2. Универсальная модель данных [2]

а) Метаданные      б) Факты      в) СВЯЗИ      г) Классификаторы

ID_Ekz	ID_Atr	Value	ID_Ekz	ID_Atr	Value	ID_Ekz	ID_Atr	Value	ID	ID_Atr	Value
10101	A1	<b>БД1</b>	10101	F1	<b>01-01-08</b>	101	ID_Obj_in	БД1	1	1	Ааааа
10102	A2	Name1	10102	F2	<b>01-12-08</b>	102	ID_Atr	Name1	1	2	Ббббб
10103	A3	аааа	10103	F3	<b>Иванов</b>	103	ID_EkzObj	1	3	ГОИИИ	Ввввв
10104	A4	<b>100</b>	10201	F1	<b>01-12-07</b>	104	ID_Obj_out	Param	3	ИСА	Ггггг
20201	A1	<b>БД2</b>	10202	F2	<b>01-10-08</b>	105	ID_EkzObj	Par1	3	ИЭМ	Ддддд
20202	A2	<b>Name2</b>	10203	F3	<b>Петров</b>	201	ID_Obj_in	БД2	2	А	Анализ
20203	A5	<b>ИСА</b>	10301	F1	<b>15-12-07</b>	202	ID_Atr	Geo	2	К	Климат
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Рис. 3. Пример реализации предложенной схемы УМД [2]

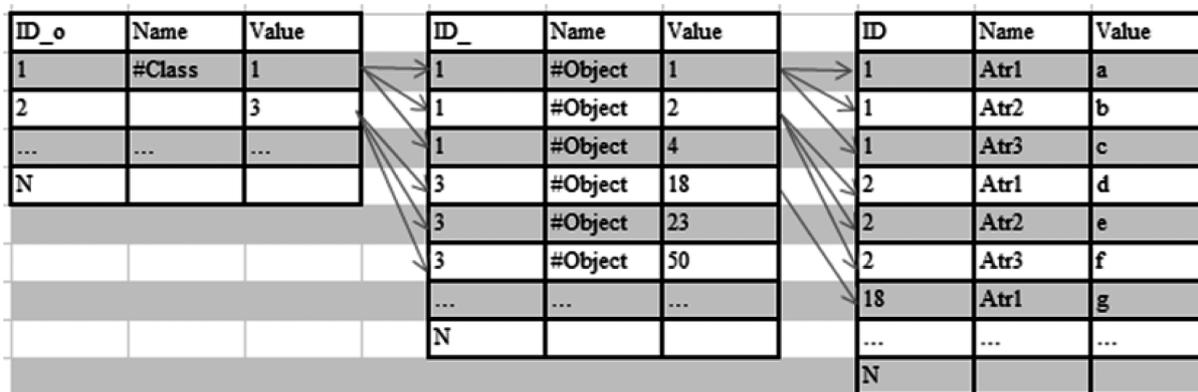


Рис. 4. Пример структуры УМД [2, 6]

в основе всё также лежит понятие трипла, однако, вводится несколько видов триплов, под каждый из которых выделяется своя таблица. Новая схема вносит в универсальную модель данных строгую иерархию видов триплов. Иерархия основана на принципах объектно-ориентированного программирования. Пример предложенной структуры УМД продемонстрирован на рисунке 4.

В первой таблице содержатся триплы, обозначающие отдельный класс объектов, в поле «name» они содержат служебное слово #class. Во второй таблице содержатся триплы, обозначающие объекты классов, в поле «name» они содержат служебное слово #object. Третья таблица нужна для хранения атрибутов. Любые дополнительные параметры, такие как имя класса, пакет, в котором класс находится и т.п. заносятся в четвертую таблицу с идентификатором, который содержится в таблице класса в поле «value». Также с данным идентификатором будут заноситься объекты соответствующего класса во вторую таблицу по мере их появления. Т.е. таблицы связаны типом один-ко-многим по цепочке от первой к третьей, что наглядно показано на рисунке 4. Предложенная структура обеспечивает пользователя возможностью добавлять или удалять какой-либо атрибут в объекте без изменения схемы базы данных. Так как между классами, объектами и их свойствами существует однозначная связь, то можно образовать хеш этих связей для конкретных экземпляров триплов, фактически добавив индексы, улучшив тем самым производительность модели.

Помимо основанных на базах данных УМД, рассмотренных выше, существует множество моделей, которые базируются на языке XML. Всех их объединяет одно: данные хранятся в файлах на языке XML, а для обработки этих данных используется XML-схема. Одним из примеров использования языка XML является формат XSIL (Extensible Scientific Interchange Language), разработанный Центром компьютерных исследований (Center for Advanced Computing Research, CACR) [3, 4]. Это гибкий, иерархический, расширяемый язык для описания научных данных. Как всякий документ XML, файл XSIL является иерархией элементов, каждый из которых представлен тэгом, несколькими атрибутами, текстом и может содержать другие элементы. XSIL предоставляет синтаксическую структуру для распространенных научных данных (таблиц, массивов и т. п.) и механизм для расширения XML и объектов Java. В XSIL входит также расширяемая платформа для визуализации Xlook. Кроме того, файл XSIL может быть использован и для непосредственного просмотра в веб-браузере. Библиотека может быть расширена классами, написанными пользователем для специфичных типов данных [7].

Все рассмотренные УМД имеют как достоинства, так и недостатки. Чтобы побороть некоторые недостатки, было принято решение создать новую УМД.

### Описание предлагаемой модели данных

В основе предлагаемой модели данных лежит JSON — популярный формат данных, широко используемый в REST-сервисах для обмена данными между приложениями. Большинство REST-сервисов для взаимодействия друг с другом и с клиентскими приложениями используют JSON.

Предлагаемая модель состоит из двух типов файлов. Первый тип — схема (или классификатор), в котором хранится общая информация (метаданные), связи с другими схемами и набор полей с атрибутами, характерными для объектов этой схемы.

Основные поля классификатора включают:

- id — уникальный в рамках всех схем идентификатор в формате GUID (Globally Unique Identifier);
- name — название схемы, предлагается сделать его уникальным для каждой схемы;
- created — дата и время создания схемы;
- description — текстовое описание схемы;
- relations — массив, содержащий связи текущей схемы с другими схемами. Одна связь выражается двумя полями: id и name связанной схемы;
- fields — массив полей, которые могут содержать конкретные объекты, относящиеся к рассматриваемой схеме. Одно поле выражается тремя атрибутами: id, name и type поля. Type может быть числовым, строковым, булевым и т.д.

Пример общей структуры схемы представлен на рисунке 5.

Помимо предложенных полей схемы, модель можно дополнить другими полями, к примеру, owner, которое содержало бы информацию о владельце схемы.

Второй тип — объект (или сущность), в котором хранится конкретный набор данных, например, какие-либо измерения, данные наблюдений и т.д.

Как и схема, объект имеет набор обязательных полей. Предлагаются следующие поля:

- id — уникальный в рамках объектов одной схемы идентификатор объекта в формате GUID;
- name — уникальное в рамках объектов одной схемы имя объекта в строковом формате;
- class\_id — идентификатор схемы, к которому относится объект;
- class\_name — название схемы, к которому относится объект. Данное поле предлагается для лучшего восприятия объекта человеком;
- created — дата и время создания объекта;
- fields — массив полей, которые содержит объект. Могут содержать любые данные, однако, для

```
{
  "id": "GUID классификатора",
  "name": "Название классификатора",
  "created": "Дата и время создания классификатора",
  "description": "Описание классификатора",
  // набор полей, содержащих метаданные (источник, владелец и т.д.)
  "relations": [
    {
      "id": "GUID связанного классификатора",
      "name": "Название связанного классификатора"
    }
  ],
  "fields": [
    {
      "id": "GUID поля",
      "name": "Название поля",
      "type": "Тип поля"
    }
  ]
}
```

Рис. 5. Общая структура схемы

```
{
  "id": "GUID сущности",
  "name": "Название сущности",
  "class_id": "GUID классификатора, который описывает данную сущность",
  "class_name": "Название классификатора",
  "created": "Дата и время создания сущности",
  // дополнительные метаданные (владелец и т.д.)
  "fields": [
    {
      "id": "GUID поля",
      "name": "Название поля",
      "type": "Тип поля",
      "value": "Значение поля"
    }
  ]
}
```

Рис. 6. Общая структура объекта

лучшей совместимости предлагается, чтобы поля объекта соответствовали полям схемы, к которому относится данный объект.

Массив field в свою очередь состоит из набора json-объектов, каждый из которых содержит следующие поля:

- id — уникальный в рамках полей сущности идентификатор поля в формате GUID;
- name — уникальное в рамках полей сущности название поля;
- type — тип поля. Может быть строковым, числовым, булевым, отражать связь с другими объектами и т.д.;
- value — значение поля. В зависимости от типа поля может быть простым значением, json-объектом, массивом.

Пример общей структуры объекта представлен на рисунке 6.

Так же, как и схема, объект можно дополнить новыми полями, если они необходимы.

Представленные структуры позволяют описать любой набор структурированных данных, которые затем

будут легко восприниматься как машинами, так и людьми. Пример конкретной схемы представлен на рисунке 7. Пример конкретного объекта представлен на рисунке 8.

#### Сравнение предлагаемой модели с существующими моделями

Краткое сравнение рассмотренных ранее универсальных моделей данных приведено в таблице 1.

Предлагаемая модель имеет ряд преимуществ перед существующими универсальными моделями данных. Для демонстрации достоинств модели данных на основе JSON проведём её сравнение с двумя популярными моделями на основе XML и триплов.

Модель данных на основе XML в целом имеет схожую структуру с предложенной моделью на основе JSON. В ней тоже есть схема, которая представляет собой файл формата XSD (XML Schema definition) и хранит описание структуры данных. Сами данные представляют собой XML файлы, что аналогично объектам в предлагаемой модели на основе JSON. Однако, основные преимущества JSON модели перед XML состоят в её лаконичности и простоте понимания человеком. Если мы посмотрим

```

{
  "id": "000000000-0000-0000-0000-00000000",
  "name": "Гидрометеорология",
  "created": "01.01.2012 00:00:00",
  "description": "Данные об измерениях в области Гидрометеорологии",
  "relations": [
    {
      "id": "000000000-0000-0000-0000-000000001",
      "name": "Аэрология"
    }
  ],
  "fields": [
    {
      "id": "000000000-0000-0000-0000-00000000",
      "name": "Температура океана",
      "type": "decimal"
    },
    {
      "id": "000000000-0000-0000-0000-000000001",
      "name": "Глубина океана в месте измерений",
      "type": "decimal"
    },
    {
      "id": "000000000-0000-0000-0000-000000002",
      "name": "Название океана",
      "type": "text"
    },
    {
      "id": "000000000-0000-0000-0000-000000003",
      "name": "Граничит с",
      "type": "relation"
    }
  ]
}

```

Рис. 7. Пример схемы

```

{
  "id": "000000000-0000-0000-0000-00000000",
  "name": "Наблюдения за океаном",
  "class_id": "000000000-0000-0000-0000-00000000",
  "class_name": "Гидрометеорология",
  "created": "11.11.2021 12:00:00",
  "fields": [
    {
      "id": "000000000-0000-0000-0000-00000000",
      "name": "Температура океана",
      "type": "decimal",
      "value": "10.5"
    },
    {
      "id": "000000000-0000-0000-0000-000000001",
      "name": "Глубина океана в месте измерений",
      "type": "decimal",
      "value": "2654.4"
    },
    {
      "id": "000000000-0000-0000-0000-000000002",
      "name": "Название океана",
      "type": "text",
      "value": "Атлантический"
    },
    {
      "id": "000000000-0000-0000-0000-000000003",
      "name": "Граничит с",
      "type": "relation",
      "value": [
        {
          "id": "000000000-0000-0000-0000-000000001",
          "name": "Тихий"
        },
        {
          "id": "000000000-0000-0000-0000-000000002",
          "name": "Северный Ледовитый"
        }
      ]
    }
  ]
}

```

Рис. 8. Пример объекта

Таблица 1.

## Сравнение рассмотренных моделей данных

Модель	Универсальность	Единица хранения	Сложность	Достоинства	Недостатки
Модель на основе XML	Широкая	Объект	Средняя	Можно описать любую предметную область. Предназначена для обмена данными	Многословность, накладные расходы на память
Модель на основе триплов	Широкая	Атрибут в виде трипла (ИД, код атрибута, значение)	Сложная	Позволяет представить любой объект в виде 4 таблиц (метаданные, факты, классификаторы, связи)	Высокая сложность реализации постоянного конвертирования из УМД в плоскую структуру и обратно. Трудна для понимания
Модель на основе JSON	Широкая	Объект в виде записи	Средняя	Можно описать любую предметную область. Предназначена для обмена данными	Сложности с реализацией конвертации в модель на основе JSON и обратно

на структуру XML, мы увидим, что в ней содержится множество громоздких тегов, которые тяжело читать, и к тому же из-за этих тегов увеличивается объём хранимой информации. Если для малого набора данных это не критично, то при большом объёме это более чем заметно. JSON не имеет таких проблем, так как его намного легче воспринимать человеку за счёт простого и понятного синтаксиса, к тому же данные, хранимые в формате JSON занимают меньше места, что позволяет экономить память при хранении и трафик при обмене этими данными через Интернет. Помимо прочего, JSON сейчас более популярный формат, нежели XML.

Модель данных на основе триплов является отличным решением, позволяющим эффективно хранить любые данные. Однако, у неё имеются серьезные недостатки. Основной недостаток кроется в том, что для работы такой модели необходима СУБД, установленная на устройстве, на котором необходимо с данной моделью работать. Второй важный недостаток — плохая читаемость человеком, так как все данные представляют собой набор записей из трёх полей. Предложенная модель

на основе JSON качественно выделяется на данном фоне благодаря своей простоте и понятности. Данные в предложенной модели представляют собой набор текстовых файлов, которые поддерживаются по умолчанию большинством операционных систем. А это значит, что мы можем без проблем и без установки дополнительного программного обеспечения просматривать и даже вручную редактировать эти файлы. Про удобную и понятную читаемость такой модели уже было сказано ранее.

### Заключение

В рамках данной работы была впервые предложена и описана универсальная модель в формате JSON для структурированных данных. Проведено сравнение предложенной модели с двумя другими моделями, в формате XML и триплов. Доказано, что модель в формате JSON обладает преимуществами — лаконичность и простота понимания человеком.

В дальнейшем планируется программно реализовать конвертацию данных в предложенную модель и из неё.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Муса-Оглы Е., Бессарабов Н. Универсальная модель данных в Oracle. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.interface.ru/home.asp?artId=24052>
2. Вязилов Е.Д., Федорцов А.А. Универсальная модель хранения данных с учетом жизненного цикла объектов // Шестая Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии и мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». — Москва, ИКИ РАН, 10–14 ноября 2008.
3. Williams, R. 2000, Extensible Scientific Interchange Language (XSIL), <http://www.cacr.caltech.edu/XSIL>.
4. Dick, D. 2020. Office open XML. Available at <http://officeopenxml.com/anatomyofOOXML.php>
5. Пергаменцев Ю. Проектирование БД на основе универсальной модели данных // «Вега-ЛТД». Материалы конференции «Корпоративные БД 2002». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.citforum.ru/seminars/cbd2002/111.shtml>, свободный. — Загл. с экрана.
6. Вязилов Е.Д. Создание и использование баз данных. Palmarium Academic Publishing, Germany. 2018. 545 с.
7. Melzer, S., Thiemann, S., Schiff, S. and Möller, R., 2023. Implementation of a Federated Information System by Means of Reuse of Research Data Archived in Research Data Repositories. Data Science Journal, 22(1), p.39. DOI: <https://doi.org/10.5334/dsj-2023-039>

© Минков Олег Александрович (oaminkov@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЕТЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE  
OF RESEARCH IN THE FIELD  
OF AUTOMATION OF INFORMATION  
SECURITY MONITORING OF INDUSTRIAL  
INTERNET OF THINGS NETWORKS  
USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
TECHNOLOGIES

**A. Rusakov**  
**E. Bolgar**  
**E. Ivanov**

*Summary.* The modern development of industry, designated by the term Industry 4.0, is inextricably linked with the introduction and development of the industrial Internet of Things (IIoT). This approach to automation and optimization of production processes opens up new horizons for improving the efficiency and competitiveness of enterprises. However, with the growing popularity of IIoT, a number of serious challenges arise, among which information security plays a key role. At a time when IIoT devices are becoming increasingly vulnerable to cyber attacks, the need to develop reliable protection methods becomes critically important. This article discusses the main problems associated with ensuring the information security of IIoT networks, as well as modern approaches and technologies aimed at solving them.

*Keywords:* information security, Internet of things, Internet of Things security, artificial intelligence technologies.

**Русаков Алексей Михайлович**  
старший преподаватель,

МИРЭА — Российский технологический университет  
rusal@bk.ru

**Болгар Евгений Петрович**

МИРЭА — Российский технологический университет  
sorry20iq@vk.com

**Иванов Егор Сергеевич**

МИРЭА — Российский технологический университет  
ivanov.e.s@bk.ru

*Аннотация.* Современное развитие промышленности, обозначаемое термином Industry 4.0, неразрывно связано с внедрением и развитием промышленного Интернета вещей (IIoT). Этот подход к автоматизации и оптимизации производственных процессов открывает новые горизонты для повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий. Однако с ростом популярности IIoT возникает и ряд серьезных вызовов, среди которых ключевую роль играет обеспечение информационной безопасности. В условиях, когда устройства IIoT становятся все более уязвимыми к кибератакам, необходимость в разработке надежных методов защиты становится критически важной. В данной статье рассматриваются основные проблемы, связанные с обеспечением информационной безопасности сетей IIoT, а также современные подходы и технологии, направленные на их решение.

*Ключевые слова:* информационная безопасность, интернет вещей, безопасность интернета вещей, технологии искусственного интеллекта.

## Введение

Из-за значительного прорыва в области промышленного Интернета вещей (IIoT) произошло развитие промышленности, известное как Industry 4.0. По данным аналитической компании Research and Markets, с 2021 года мировой рынок IIoT демонстрирует среднегодовой рост на уровне 21 %, и к 2026 году его объем может достичь 344,7 миллиарда долларов. Промышленный Интернет вещей представляет собой расширение концепции Интернета вещей (IoT), ориентированное на решение промышленных задач. IoT подразумевает создание вычислительной сети, состоящей из физических устройств, или «вещей», которые оснаще-

ны встроенными технологиями для взаимодействия как между собой, так и с окружающей средой [1]. С технологической точки зрения, IoT можно рассматривать как четырехуровневую систему, включающую подключаемые устройства (сенсоры, датчики, терминалы), сети для их взаимодействия, IoT-платформы и приложения для конечных пользователей. Согласно стандарту ПНСТ 643-2022 «Информационные технологии», IIoT является важным элементом технологического прогресса. Интернет вещей промышленный. Термины и определения», IIoT представляет собой сеть, объединяющую машины, компьютеры и людей для обеспечения интеллектуальных производственных процессов с использованием расширенной аналитики данных, что приводит к качественно

новым бизнес-результатам. В области IIoT необходимы вещами для интеграции в сеть являются различные приборы. Отметим, что коммуникационные интерфейсы, как проводные, так и беспроводные, играют центральную роль в этой системе. Однако вне зависимости от используемой технологии на канальном и физическом уровнях, устройства должны поддерживать протокол IP для интеграции в инфраструктуру IIoT. IIoT тесно связано с киберфизическими системами и автоматизированными системами управления технологическими процессами. Киберфизическая система — это умная структура, состоящая из взаимодействующих физических и вычислительных элементов. АСУ ТП традиционно рассматриваются как комплексные решения для автоматизации основных операций на производстве, однако в последние годы их функции и цели все больше смещаются в сторону идеологии IIoT. Важно отметить, что многие промышленные объекты в России, использующие или внедряющие технологии IIoT, подпадают под действие федерального закона № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», который охватывает информационные системы, телекоммуникационные сети и автоматизированные системы управления, в 2020 году в России был разработан стандарт ПНСТ 420-2020 «Информационные технологии, который описывает архитектуру IIoT, включая различные интересы и модели. Стандарт предлагает трехуровневую архитектуру IIoT, которая включает [2, 3]:

- Уровень предприятия: здесь реализуются приложения, системы поддержки принятия решений и интерфейсы для конечных пользователей, осуществляющие получение информации с других уровней и выдачу управляющих команд.
- Уровень платформы: на этом уровне происходит сбор и обработка данных с граничного уровня, а также передача управляющих команд от уровня предприятия к граничному уровню.

Граничный уровень: здесь осуществляется сбор данных от граничных узлов через сеть ближнего действия и реализация управляющих команд. Одной из основных проблем при создании и эксплуатации IIoT является обеспечение информационной безопасности его устройств и систем. Наиболее распространенные причины уязвимости IIoT включают:

- Устаревшее системное и прикладное программное обеспечение устройств IIoT и недостаточное внимание к обновлениям.
- Передача данных без шифрования.
- Стандартные заводские настройки безопасности устройств.
- Незащищенные интерфейсы.
- Уязвимости в операционных системах общего назначения.
- Невозможность оснастить многие устройства встроенными средствами безопасности.

Специфика IIoT заключается в подключении промышленных систем к Интернету, возможности удаленного управления ими, использовании облачных систем и ограниченности вычислительных и энергетических ресурсов автономных IIoT-устройств. Благодаря отчету «Threat Intelligence Report 2020» которая предоставила Nokia, доля атак на устройства IIoT возросла до 32,7%. По данным Check Point, 67% организаций столкнулись с инцидентами безопасности, связанными с IIoT. По информации Касперского, наблюдается большой всплеск новых образцов вредоносного ПО для IIoT-устройств. В 2015 году их было всего 483, а к 2020 году это число возросло до 401. 55% респондентов опроса, проведенного данной лабораторией, считают IIoT одним из главных факторов, влияющих на кибербезопасность АСУ ТП, однако только 14% организаций используют средства обнаружения сетевых аномалий, а 19% — системы мониторинга сети и трафика. Также подчеркивается уязвимость устройств IIoT, где слабые места включают переход на IPv6, недостаточную аутентификацию и использование стандартных учетных записей, сложности с обновлением программного обеспечения и отсутствие поддержки со стороны производителей, открытые неиспользуемые порты, применение текстовых протоколов и уязвимых мобильных технологий. Производители активно работают над улучшением безопасности IIoT. Однако злоумышленники могут скомпрометировать сенсорные узлы, нарушая целостность данных и увеличивая расход ресурсов. «отказ в обслуживании» является одним из популярных видов атак. Например, в облачной системе Microsoft Azure для обеспечения информационной безопасности IoT используется методика моделирования угроз STRIDE, которая рассматривает все уровни и компоненты IoT с точки зрения возможных угроз и предлагает меры защиты. В других исследованиях проводится сравнение возможностей обеспечения безопасности различных IoT-фреймворков, таких как AWS IoT от Amazon, Azure IoT от Microsoft и других. Важно отметить, что в рамках IIoT часто применяются беспроводные сенсорные сети (WSN), состоящие из множества автономных сенсорных узлов, которые собирают данные и обмениваются ими через беспроводное соединение с более мощным узлом — базовой станцией. Из-за распределенной открытой архитектуры и ограниченных ресурсов сенсорных узлов такие сети подвержены атакам.

Ведутся работы по повышению защищенности беспроводных сенсорных сетей [4]. Основанное на анализе поведения соседних узлов предлагается в качестве меры защиты предлагается адаптивное взаимодействие компонентов системы. Защищенность (кибербезопасность) сети и системы». Эти стандарты предлагают методику оценки защищенности промышленных коммуникационных сетей, которая включает выделение независимых зон безопасности, построение модели физической ар-

хитектуры и оценку угроз и рисков информационной безопасности. Среди международных документов в области обеспечения информационной безопасности IoT и IIoT можно выделить отчеты NISTIR, рекомендации Министерства внутренней безопасности США, а также международные стандарты, разработанные ИСО и МЭК. Принятие международного стандарта ISO/IEC 30162:2022 «Интернет вещей. Требования к совместимости устройств, сетей и систем промышленного Интернета вещей» способствует решению проблемы интеграции различных устройств IIoT, что, в свою очередь, помогает обеспечить безопасность сетевого взаимодействия этих устройств.

### Методы обеспечения информационной безопасности сетей IIoT

Требования к безопасности сетей IIoT охватывают как защиту систем, так и безопасность обрабатываемой информации [1,3]. Основные нормативные акты включают Приказы ФСТЭК № 31, № 235 и № 239. Как уже упоминалось, системы IIoT имеют много общего с промышленными системами автоматизации (АСУ ТП) и объектами критической информационной инфраструктуры (КИИ). Поэтому большинство методов обеспечения их информационной безопасности будут зависеть от требований, предъявляемых к системам и объектам данного типа.

- Приказ ФСТЭК № 31 от 14.03.2014 г. устанавливает требования к защите информации в автоматизированных системах управления на критически важных объектах. Он определяет правила для систем защиты АСУ ТП и меры, необходимые для обеспечения их безопасности.
- Приказ ФСТЭК № 235 от 21.12.2017 г. касается создания систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры и их функционирования.

Конкретные требования и состав необходимых мер по обеспечению информационной безопасности значимых объектов КИИ определяются Приказом ФСТЭК России от 25.12.2017 г. № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации». Этот документ устанавливает цели и задачи обеспечения безопасности, объекты защиты, состав мер по организационно-технической защите информации, а также требования к обеспечению безопасности на всех этапах жизненного цикла значимых объектов КИИ и их программно-аппаратных комплексов. В данный момент на этапе разработки находится программа стандартизации в области IIoT, а также обсуждаются предварительные национальные стандарты (ПНСТ), некоторые из которых были упомянуты ранее. Международные стандарты уже сегодня охватывают широкий спектр во-

просов, связанных с обеспечением безопасности IIoT-систем. К тематике IIoT непосредственно относится ГОСТ Р 59547-2021 «Защита информации. Мониторинг информационной безопасности. Общие положения». Этот стандарт описывает задачи, объекты и уровни мониторинга, а также устанавливает требования к источникам данных, сбору, хранению, агрегированию и обработке данных, а также к представлению результатов мониторинга и их защите. В контексте информационной безопасности риск определяется как количественная мера потенциального ущерба, связанного с реализацией угрозы, с учетом вероятности ее возникновения. Прогнозирование и оценка рисков информационной безопасности обсуждаются в ряде исследований, включая работы, посвященные корпоративным сетям и критическим инфраструктурам. С целью повышения уровня автоматизации процессов управления инцидентами информационной безопасности и повышения эффективности реагирования на киберугрозы создаются ситуационные центры управления информационной безопасностью (Security Operation Center, SOC). Операторы центров управления безопасностью (SOC) в основном работают с системами управления безопасностью и событиями (SIEM). Эти системы собирают данные о событиях из различных источников по всей сети, сопоставляют их и выявляют инциденты информационной безопасности. Подсистемы корреляционного анализа являются важной частью SIEM-систем, которые используются для управления информацией о событиях и инцидентах информационной безопасности. Методы SIEM эффективно применяются для обнаружения сетевых атак на IIoT.

Источники информации для SIEM-систем включают [5]:

- Системы аутентификации и контроля доступа, предоставляющие данные о попытках доступа.
- DLP-системы, информирующие о попытках инсайдерских утечек.
- IDS/IPS-системы, предоставляющие данные о сетевых атаках и изменениях конфигурации.
- Межсетевые экраны, фиксирующие атаки и вредоносное ПО.
- Антивирусные приложения, генерирующие события о работоспособности ПО и изменениях конфигураций.
- Журналы событий серверов и рабочих станций используются для контроля доступа.
- Контроль информационной безопасности (ИБ) в сетях IIoT осуществляется через анализ сетевого трафика. Сбор этих данных усложняется разнообразием протоколов и типов подключений, используемых устройствами IIoT. В системах Интернета вещей применяются:
- Беспроводные локальные сети (WLAN) и персональные беспроводные сети (WPAN), включая технологии с малым радиусом действия, такие как

Wi-Fi, 6LoWPAN, ZigBee IP, Thread, Z-Wave, ZigBee, WirelessHart, BLE 4.2 (Bluetooth Mesh) и MiWi.

- Энергоэффективные глобальные сети (LPWAN), которые предназначены для передачи небольших объемов данных на большие расстояния, такие как LoRaWAN, SIGFOX, CLoT, 4G LTE, 5G, NB-IoT и другие.

Необходимо учитывать распределенный характер объекта мониторинга ИБ. Важно учитывать распределенный характер объектов мониторинга ИБ. В качестве источников входных данных должны использоваться не только устройства IIoT, но и сетевое оборудование, включая маршрутизаторы и межсетевые экраны (МЭ). Также имеется возможность взаимодействия с SIEM-системами. Важно реализовать пространственно-временную модель сбора входных данных для систем мониторинга, где данные должны иметь привязку к конкретным узлам сети IIoT и времени их регистрации, то есть быть темпоральными. Это требует учета разнородности данных на этапе их нормализации. На этапе обучения и тестирования сервис-ориентированной архитектуры (COA) для сети IIoT мы будем опираться на параметры, используемые в различных наборах данных о сетевых соединениях, которые содержат характеристики трафика как для нормальных соединений, так и для атак. После сбора и нормализации данные о сетевом трафике подвергаются анализу с использованием различных методов и технологий интеллектуального анализа данных. Интеллектуальные системы сегодня в первую очередь ассоциируются с искусственными нейронными сетями (ИНС), которые зарекомендовали себя как эффективный метод классификации, применяемый для решения множества задач, включая обнаружение атак и сетевых аномалий.

Методы машинного обучения охватывают различные алгоритмы, такие как деревья решений, алгоритмы муравьиной колонии, случайные леса, k-ближайшие соседи, нечеткая логика, машины опорных векторов, наивный байесовский классификатор и генетические алгоритмы. Эти методы активно применяются для решения задач интеллектуального анализа данных, включая выявление и классификацию атак на основе анализа сетевого трафика. Искусственные иммунные системы (ИИС) также находят применение для обнаружения неизвестных атак и обладают способностью к постоянному самообучению. По данным исследований, ИИС могут значительно превосходить ИНС и генетические алгоритмы по быстродействию и количеству ошибок. Повышение эффективности выявления сетевых атак и аномалий может быть достигнуто за счет интеграции различных методов искусственного интеллекта в рамках гибридной интеллектуальной системы (ГИС) [6]. ГИС объединяет технологии ИИ для получения синергетического эффекта, компенсируя недостатки одного метода преиму-

ществами другого. Например, методы статистического анализа позволяют выявлять известные типы аномалий, но не способны обнаруживать новые, ранее неизвестные виды атак. В свою очередь, алгоритмы машинного обучения могут адаптироваться к изменяющимся угрозам, но их работа часто воспринимается как «черный ящик». Интеграция этих подходов в рамках гибридной системы дает возможность сочетать преимущества статистического анализа и машинного обучения, создавая более эффективное и прозрачное решение для обнаружения сетевых атак [7,8].

- Применительно к промышленным сетям и сетям Интернета вещей используются следующие подходы:
- Нейронные сети глубокого обучения для обнаружения сетевых атак и аномалий в IoT/IIoT.
- Методы машинного обучения для обнаружения атак на IoT и IIoT, включая сравнение различных алгоритмов с ИНС, где лучшую точность демонстрируют ИНС и случайный лес.
- Искусственные иммунные системы для идентификации вторжений в сети IoT и IIoT.
- Гибридные интеллектуальные системы обнаружения атак на IoT, IoMT, АСУ ТП и IIoT, включая алгоритмы ИИС.

В задаче обнаружения сетевых атак и аномалий функционирование искусственных иммунных систем (ИИС) аналогично работе человеческого организма по выявлению и противодействию вредным воздействиям. Алгоритм клональной селекции (CSA) моделирует процесс размножения активированных В-лимфоцитов, при этом существуют различные методы его реализации. Один из подходов предполагает случайную генерацию детекторов и определение их «аффинности» — меры близости к вектору данных нормального состояния системы. Детекторы с наибольшей аффинностью клонируются в большем количестве. На этапе анализа, если ни один детектор не соответствует исследуемым данным, они считаются аномальными. Существуют различные подходы к его реализации [9]. Например, в одном из исследований описывается создание детекторов, которые обнаруживают нормальное состояние системы. В результате формируются детекторы, срабатывание которых указывает на нештатное состояние контролируемой системы или процесса. Количество детекторов для каждого класса аномалий определяется пропорционально количеству примеров этого класса в обучающих данных. Детекторы с наибольшим значением аффинности клонируются в количестве, пропорциональном этому значению. Каждый клон подвергается мутации, степень которой обратно пропорциональна аффинности. В другом подходе детекторам предоставляются обучающие данные, соответствующие аномалиям. Избыточное увеличение числа детекторов из-за клонирования может adversely

affect the system's performance, поэтому часто устанавливаются ограничения как на их количество, так и на срок их существования. Если детектор выявляет аномалию, его срок жизни существенно продлевается. В целом, алгоритм клональной селекции является адаптивным, что позволяет дообучать систему в процессе её эксплуатации. Количество необходимых детекторов определяется как отношение количества детекторов в множестве детекторов, соответствующих классу данных, к количеству строк обучающих данных об аномалиях этого класса. Увеличение числа детекторов из-за клонирования может отрицательно влиять на производительность системы, поэтому часто устанавливаются ограничения как на количество детекторов, так и на срок их существования. Если срок жизни детектора истекает, он удаляется, и на его место создается новый. В случае, если детектор выявляет аномалию, его срок существования значительно продлевается. В целом, алгоритм клональной селекции обладает адаптивностью, что позволяет дообучать систему в процессе её эксплуатации. Однако его применение не всегда обеспечивает толерантность системы к «своим» данным. Согласно теории опасности, иммунная система при определении необходимости реагирования учитывает не только обнаружение чужеродных патогенов, но и степень опасности ситуации. Это означает, что иммунитет должен более агрессивно реагировать на «свое, но опасное», а не только на «чужое, но безопасное». Это означает, что иммунитет должен более агрессивно реагировать не на «чужое, но безопасное», а на «свое, но опасное». Различные подходы к построению ИИС имеют свои преимущества и недостатки. Например, методы на основе правил экспертных систем

отличаются высокой точностью в выявлении известных типов атак, но требуют ручной настройки и не способны адаптироваться к новым, ранее неизвестным угрозам. В свою очередь, алгоритмы аномального поведения, использующие обучение без учителя, могут автоматически обнаруживать нетипичные паттерны сетевого трафика, однако могут давать больше ложных срабатываний. Сочетание этих подходов в рамках гибридной системы позволяет сбалансировать точность выявления известных атак и гибкость обнаружения новых, неизвестных вторжений, повышая общую эффективность защиты.

### Заключение

Таким образом, обеспечение информационной безопасности сетей промышленного Интернета вещей представляет собой сложную и многогранную задачу, требующую комплексного подхода и применения современных технологий. Учитывая растущие угрозы и уязвимости, связанные с использованием IIoT, необходимо активно развивать и внедрять методы защиты, включая использование искусственного интеллекта и машинного обучения для мониторинга и анализа сетевого трафика. Важно также учитывать требования законодательства и стандартизации в области информационной безопасности, что позволит создать надежную инфраструктуру для функционирования IIoT. В конечном итоге, успешное решение проблем безопасности в этой области будет способствовать не только защите данных и систем, но и обеспечению устойчивого развития промышленности в эпоху цифровизации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка и регулирование рисков нарушения информационной безопасности телекоммуникационных сетей связи и управления промышленного интернета вещей / С.А. Ермаков, Я.М. Каценко, А.А. Болгов [и др.] // Информатика и безопасность. — 2020. — Т. 23, № 1. — С. 107–114. — EDN LDZKCF.
2. Ларионов, А.Ю. Промышленный интернет вещей: проблемы безопасности и их решения в сетях WSN / А.Ю. Ларионов, Е.Е. Каранова // Наука и образование в наши дни: фундаментальные и прикладные исследования: Материалы XLIII Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях, Ростов-на-Дону, 23 декабря 2021 года. Том Часть 1. — Ростов-на-Дону: ООО «Издательство ВВМ», 2021. — С. 105–108. — EDN ZJSMRY.
3. Рылов, С.А. Промышленный интернет. Современный подход и концепции: учебник / С.А. Рылов. — Москва: РТУ МИРЭА, 2023. — 124 с. — ISBN 978-5-7339-1969-0. — EDN TVXBQA.
4. Добрынин, С.Л. Мониторинг и предиктивная аналитика технологического оборудования на базе промышленного Интернета вещей / С.Л. Добрынин, В.Л. Бурковский // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2020. — Т. 16, № 5. — С. 7–12. — DOI 10.36622/VSTU.2020.16.5.001. — EDN DTASGG.
5. Лазарева, Н.Б. Анализ программных продуктов SIEM-СИСТЕМ с целью выбора решения для защиты иб предприятия / Н.Б. Лазарева, М.С. Кармадонов // Far East Math — 2022 : Материалы национальной научной конференции, Хабаровск, 22–26 ноября 2022 года / Редколлегия: Е.Г. Агапова (отв. редактор) [и др.]. — Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2022. — С. 127–136. — EDN TGFQUC.
6. Александренко, Н.Д. Искусственный интеллект в информационной безопасности / Н.Д. Александренко, А.С. Зуфарова // ТОГУ-Старт: фундаментальные и прикладные исследования молодых: Материалы региональной научно-практической конференции, Хабаровск, 12–16 апреля 2022 года / Редколлегия: Е.Г. Агапова (отв. редактор) [и др.]. — Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2022. — С. 218–225. — EDN WHQTXN.
7. Антонов, И.А. Методы машинного обучения для обнаружения вторжений в сетях интернета вещей / И.А. Антонов, М.К. Исаченко // Искусственный интеллект в промышленных, коммерческих, медицинских и финансовых приложениях: СБОРНИК СТАТЕЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СЕМИНАРА СТУДЕНТОВ КАФЕДРЫ «ИНЖЕНЕРНОЙ КИБЕРНЕТИКИ», Москва, 30 декабря 2023 года. — Москва: Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», 2023. — С. 9–15. — EDN THRHTS.
8. X. Liang and Y. Kim, «A survey on security attacks and solutions in the iot network», in 2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). IEEE, 2021, pp. 0853–0859.
9. P.R. Maidamwar, M.M. Bartere, and P.P. Lokulwar, «Implementation of network intrusion detection system using artificial intelligence: Survey», in Proceedings of the 2nd International Conference on Recent Trends in Machine Learning, IoT, Smart Cities and Applications. Springer, 2022, pp. 185–198.

© Русаков Алексей Михайлович (rusal@bk.ru); Болгар Евгений Петрович (sorry20iq@vk.com); Иванов Егор Сергеевич (ivanov.e.s@bk.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СИСТЕМА АНАЛИЗА ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ И ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

## SYSTEM FOR ANALYZING THE TRANSFER OF POLLUTANTS IN THE ATMOSPHERIC AIR AND WATER BODIES

V. Rybak

*Summary.* The paper considers and analyzes known approaches to modeling the transfer of pollutants in the atmospheric air and water bodies. The implemented system is described, which allows to obtain predicted values of concentrations changing in space over time in a visual form. The results of the air subsystem are relevant not only in conditions of emergency emissions, but also for choosing places for mass gatherings of people, holding sports events. It is justified to use the water subsystem to assess the economic efficiency of environmental protection measures and their payback.

*Keywords:* mathematical model, software implementation, pollutant transfer, environmental pollution analysis.

**Рыбак Виктор Александрович**

Кандидат технических наук,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники (г. Минск)  
V.Rybak@bsuir.by

*Аннотация.* В работе рассматриваются и анализируются известные подходы к моделированию переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и водных объектах. Описана реализованная система, позволяющая в наглядном виде получать прогнозные значения концентраций, изменяющихся в пространстве со временем. Результаты воздушной подсистемы актуальны не только в условиях аварийных выбросов, но и для выбора мест массовых собраний людей, проведения спортивных мероприятий. Водную подсистему оправданно использовать для оценки экономической эффективности природоохранных мероприятий и их окупаемости.

*Ключевые слова:* математическая модель, программная реализация, перенос загрязняющих веществ, анализ загрязнения окружающей среды.

### Введение

С развитием нашего общества вопросам охраны окружающей среды и рационального природопользования уделяется всё больше внимания. Во многом это обусловлено изменением климата и очевидным влиянием загрязнения окружающей среды на качество жизни людей. Также встаёт проблема обеспечения населения пресной водой. Научный подход к оценке неблагоприятного воздействия веществ через определение предельно допустимых концентраций (ПДК) в настоящее время подвергается обоснованной критике. Рядом исследователей показано, что концентрации даже ниже предельно допустимых могут оказывать неблагоприятное воздействие [1]. Поэтому актуальным представляется вопрос создания системы для расчёта и анализа переноса загрязняющих веществ в окружающей среде.

В данной статье уделено внимание двум основным средам — атмосферному воздуху и гидросфере.

#### Атмосферный воздух

С учётом потребности людей в дыхании атмосферный воздух занимает лидирующее место по степени влияния на организм. При этом необходимо анализировать качество воздуха и в производственных, и в жилых помещениях.

Распространение выбросов от автотранспорта и промышленных производств значительно отличается от аварий-

ных выбросов, при этом последние с учётом их непредсказуемости представляют особую опасность и требуют научно обоснованных инструментов для анализа. Основными параметрами, влияющими на точность модели, являются: высота выброса, подъём шлейфа, осадки, диффузия и перенос [2].

Традиционно, для расчёта распространения загрязняющих веществ в воздухе на малые расстояния применяют эмпирическую модель Паскуилла-Гиффорда, которая базируется на оценке концентрации вещества, выбрасываемым не дискретным точечным источником [2]:

$$q(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)u} f_r f_w \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \times \left( \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) \right) \quad (1)$$

где  $x, y, z$  — декартовы координаты, ось  $z$  — вверх, ось  $x$  — по ветру;

$h$  — эффективная высота источника (то есть высота с учётом первоначального подъёма перегретой струи);

$Q$  — мощность источника выброса;

$q$  — концентрация примеси в данной точке пространства;

$u$  — скорость ветра, усреднённая по слою перемешивания;

$\sigma_y(x)$  и  $\sigma_z(x)$  — вертикальная и поперечная дисперсии облака примеси;

$f_F$  и  $f_W$  — поправки на обеднение облака за счет сушо- осаждения примеси и её вымывания осадками.

В зависимости от устойчивости атмосферы и рельефа местности изменяются параметры скорости ветра и дисперсий  $\sigma_y(x)$ ,  $\sigma_z(x)$ . В реализуемой нами системе типы местности выбираются из списка. Однако с усложнением рельефа оправданным представляется уточнение расчётов экспериментально.

Программная реализация описанной модели не предъявляет повышенных требований к вычислительным мощностям, и может быть запущена на смартфоне и планшете [3].

Направление дальнейшего развития и повышение точности моделей переноса лежат в плоскости уточнения параметров через обработку результатов натурных экспериментов [4].

В научной литературе также описана модель, разработанная в Институте экспериментальной метеорологии (ИЭМ), которая способна давать более точные прогнозы только при наличии дополнительных метеорологических данных [2].

В случае аварийных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух возникают ситуации повышенных рисков, при которых важно рассчитать максимальные разовые концентрации. Санитарно-гигиенические подходы в этой области основываются на методике ОНД-86, которая несмотря на свой «возраст» до сих пор используется в современных программных продуктах экологического анализа [4].

Минимальный набор параметров в предложенной системе для начала расчёта состоит из коэффициента скорости оседания, концентрации и радиуса выброса.

Также учитываются данные о направлении и скорости ветра, которые доступны в сети Интернет в режиме реального времени. Результатом работы системы является нанесённая на карту местности концентрация загрязняющего вещества (рисунок 1), уменьшение которой зависит как от объёма выброса, так и от метеорологических условий.

Сфера применения разработанной системы достаточно обширна: от организации массовых гуляний и спортивных мероприятий, до поиска наиболее безопасного маршрута эвакуации [5].

#### Водные ресурсы

Принято считать, что вода имеет для жизни и здоровья человека наиважнейшую после воздуха роль. И хотя человечество осваивает микро— и макрокосмос, проблема простого обеспечения всего населения планеты питьевой водой до сих пор не решена. Более того, согласно прогнозам, данная проблема в ближайшие годы будет только усугубляться. Уже сегодня в ряде регионов России, включая Московскую область, уровень грунтовых вод имеет тенденцию к понижению. При этом даже для благоприятных территорий необходимо уделять достаточное внимание экологическим вопросам.

Особенно это актуально для сельскохозяйственных угодий, где существует проблема смыва и переноса удобрений и прочих химических веществ. Также под постоянный контроль необходимо взять отрасли народного хозяйства, которые являются постоянными загрязнителями водных объектов, а также городские и промышленные стоки.

Проблема аварийных сбросов является глобальной, и касается всей планеты вследствие возможного распространения на огромные расстояния. Даже для госу-



Рис. 1. Моделирование переноса загрязняющих веществ в воздухе

дарств без непосредственного выхода к морю восстановление загрязнённых территорий может растянуться на продолжительный период времени [6].

Расчёт переноса загрязнителей в водных объектах ещё более сложен по сравнению с воздухом, (хотя последний оказывает непосредственное влияние), и сопряжён с анализом гидродинамики.

К числу работ, посвященных математическому моделированию распространения загрязняющих веществ в водных системах, относятся труды ученых Матишова Г.Г., Муравейко В.М., Бердникова С.В., Ильина Г.В., Зуева А.Н., Ильичева В.Г., Кравченко В.В. и др. [7].

Основная часть моделей переноса загрязняющих веществ в водоемах включают уравнения диффузии-конвекции, гидродинамическую составляющую, уравнение переноса вещества.

Проверка и повышение точности таких моделей через натурные замеры концентраций не всегда представляются возможным, и поэтому как правило параметры изучаются и корректируются в лабораторных условиях.

Указанная выше сложность моделей для водных объектов детерминирована в том числе различными процессами взаимодействия с привносимыми примесями [8], основные из которых: перенос с водой, турбулентная диффузия, выпадение и осаждение, обратный переход во взвешенное состояние, сорбция и десорбция, биотический захват, разложение и т.п.

Исходя из выше сказанного, для описания дисперсии загрязняющих веществ принято использовать следующее уравнение:

$$\frac{dC}{dt} = A + D - R + P - Q \quad (2)$$

где  $C$  — концентрация вещества;  $A$  — изменение концентрации вещества, обусловленное его переносом с потоком водных масс, обычно называемом адвекцией;  $D$  — изменение концентрации вещества за счет диффузии;  $R$  — убыль вещества из водной среды за счет осаждения на взвесах с последующим отложением;  $P$  — изменение концентрации за счет различного рода источников и стоков, седиментации, поглощения биотой (биологического захвата) и т.п.;  $Q$  — убыль вещества за счет разложения и распада.

В приведенном выше уравнении (2) адвекция и диффузия и осаждение вредных веществ на взвесах описываются уравнениями [6]:

$$A = U \frac{dC}{dx} + V \frac{dC}{dy} + W \frac{dC}{dz}, \quad (3)$$

$$D = \frac{d}{dx} \left( K_x \frac{dC}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left( K_y \frac{dC}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left( K_z \frac{dC}{dz} \right), \quad (4)$$

$$R = mS \frac{dC}{dt}, \quad (5)$$

где  $U, V, W$  — скорости перемещения водных масс по направлениям осей;  $x, y, z$  — составляющие коэффициента диффузии;  $S$  — концентрация взвешенных отложений;  $m$  — коэффициент равновесного распределения вещества между отложениями и водой.

По результатам проведённых исследований и анализа существующих моделей и программных продуктов была спроектирована и реализована система для анализа концентраций и прогнозирования переноса за-

Скорость реки, м/с

0.3

Задать точки

Открыть график

Моделировать

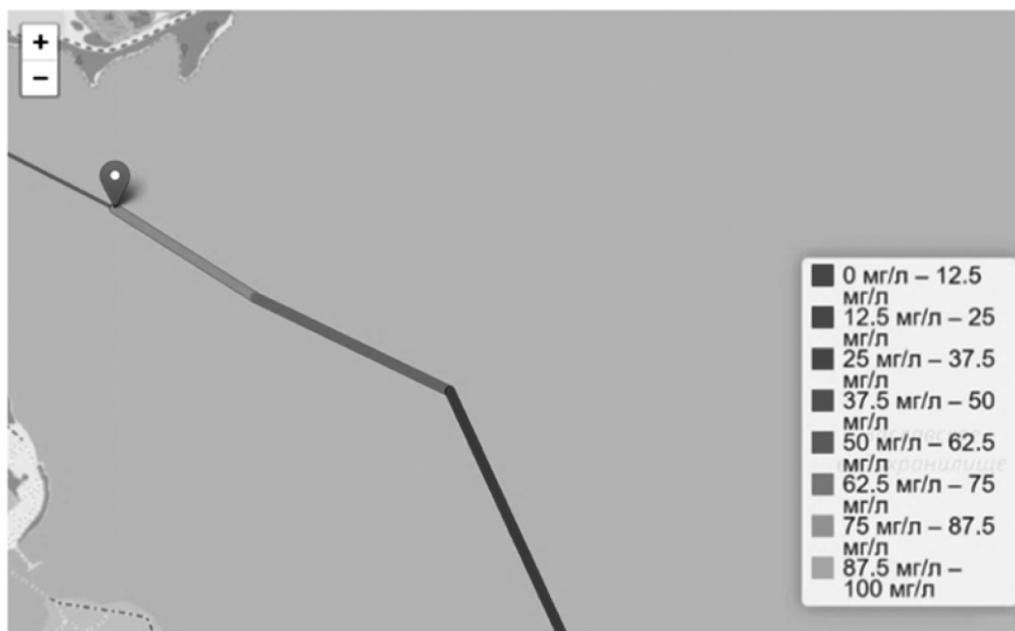


Рис. 2. Моделирование переноса загрязняющих веществ в водном объекте

грязняющих веществ в поверхностных водных объектах. Обязательными входными параметрами при этом являются: масса сброса, концентрация, координаты сброса, скорость течения.

Первый вариант работы предлагает получение прогноза распространения загрязняющего вещества в автоматическом режиме. Второй — позволяет пользователю указать точечные решения (например, полученные реальными замерами), и с использованием методов интерполяции рассчитать пространственное изменение контролируемых параметров с представлением результатов в графическом виде (рисунок 2).

Сфера применения результатов моделирования переноса загрязняющих веществ в водных объектах также представляется достаточно обширной, и может включать в том числе использование для оценки экономической эффективности очистных сооружений. Сокращение при этом концентраций загрязняющих веществ через экологические штрафы и налоги непосредственно влияет на финансовое положение предприятий, и опосредованно на здоровье людей.

### Заключение

Важные с научной и практической точки зрения исследования появляются на стыке нескольких направ-

лений, когда развитие информационных технологий и вычислительных мощностей позволяют проводить сложное моделирование и анализ результатов. С другой стороны, учёные в области экологии и санитарной гигиены могут продолжать усовершенствование существующих моделей по пути повышения их сложности и точности без оглядки на ограничение аппаратно-программной реализации.

В ходе проведённых исследований были изучены существующие подходы к моделированию переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и водных объектах. Предложены и программно реализованы две новые подсистемы, результаты работы которых представляют научный и практический интерес.

Подсистема для атмосферного воздуха актуальна для составления карт загрязнения и поиска наиболее безопасного маршрута движения людей. Водная — для анализа и минимизации ущерба окружающей среде от сбросов загрязняющих веществ, источниками которых могут являться сельское и коммунальное хозяйство, промышленность, частный сектор.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка уровня антропогенной нагрузки урбанизированных территорий на окружающую среду. (На примере Гомельского района.) / В.А.Рыбак [и др.] // Экология и промышленность России. — 2009. — №11. — С. 48–51.
2. Замай, С.С. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города : учебное пособие / С.С. Замай, О.Э. Якубайлик. — Красноярск, 1998. — С.39–48.
3. ОНД-86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.
4. Рыбак В.А., Рябычина О.П. Обзор методов и средств мониторинга загрязнения атмосферного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия Естественные и технические науки. — 2018. — №4. — С. 76–83.
5. Рыбак В.А., Рябычина О.П. Аппаратно-программный комплекс для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и выбора оптимального маршрута движения // Вестник КамчатГТУ. — 2020. — №52. — С. 6–17.
6. Мониторинг атмосферного воздуха. Белгидромет [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rad.org.by/monitoring/air/>. — Дата доступа: 31.10.2024.
7. Владимиров, В.А. Катастрофы и экология / В.А. Владимиров — М.: Центр стратег. исслед. МЧС: Контакт-Культура, 2000. — 379 с.
8. Мониторинг поверхностных вод в Беларуси. Белгидромет [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rad.org.by/monitoring/aqua.html/>. — Дата доступа: 30.10.2024.

© Рыбак Виктор Александрович (V.Rybak@bsuir.by)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА ОГРАНИЧИВАЮЩЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО КОМПРЕССОРА

## A MODEL OF THE ALGORITHM FOR LIMITING REGULATION OF A GAS TURBINE COMPRESSOR

R. Syrovatkin

*Summary.* To summarize, we note that the existing algorithms of automatic control systems are characterized by complexity and uniqueness, due to their development for specific technological installations. In order to solve certain regulatory problems in the gas industry, in the context of this study, an approach to the development of a simplified algorithm aimed at solving the problem of compensation for integral saturation is proposed. The essence of such a problem boils down to the fact that when certain parameters are reached with integral saturation, the control system becomes equivalent to an open system, which can lead to failure or disruption of the normal functioning of individual equipment and the thermal system as a whole. The model proposed and modeled in VisSim shows that the basis for the development of a simplified algorithm should be based on combining the principle of choosing the minimum impact and the principle of saturation compensation in one scheme. Only under the specified conditions will the necessary operating parameters be achieved and the main task of management in the process of regulation will be solved — maintaining maximum equipment performance with planned or forced limitation of one or more parameters.

The algorithm developed in the article is universal and can be adapted to the process of controlling any technological equipment where maximum performance is required while limiting key operating parameters.

*Keywords:* simplified algorithm, limiting regulation, gas turbine compressor, saturation compensation, integral saturation.

**Сыроваткин Роман Андреевич**

Волжский политехнический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Волгоградский государственный  
технический университет»  
Roman150190@mail.ru

*Аннотация.* В статье автор делает вывод о том, что существующие алгоритмы систем автоматического управления характеризуются сложностью и уникальностью ввиду их разработки под конкретные технологические установки. Для решения отдельных задач регулирования в газовой отрасли в контексте настоящего исследования предложен подход к разработке упрощенного алгоритма, ориентированного на решение проблемы с компенсацией интегрального насыщения. Суть такой проблемы сводится к тому, что при достижении отдельных параметров при интегральном насыщении система управления становится эквивалентной разомкнутой системе, что может привести к сбою или нарушению нормального функционирования отдельного оборудования и тепловой системы в целом. Предложенная и смоделированная в VisSim модель показывает, что в основу разработки упрощенного алгоритма необходимо заложить объединение в одной схеме принципа выбора минимального воздействия и принципа компенсации насыщения. Только при заданных условиях будут достигнуты необходимые параметры работы и будет решена основная задача управления в процессе регулирования — поддержание максимальной производительности оборудования при запланированном или вынужденном ограничении одного или нескольких параметров.

Разработанный в статье алгоритм является универсальным и может быть адаптирован под процесс управления любым технологическим оборудованием, где требуется максимальная производительность при ограничении ключевых рабочих параметров.

*Ключевые слова:* упрощенный алгоритм, ограничивающее регулирование, газотурбинный компрессор, компенсация насыщения, интегральное насыщение.

В процессах регулирования технологического оборудования одной из задач управления является поддержание максимальной производительности оборудования при запланированном или вынужденном ограничении одного или нескольких параметров [3, 4, 9]. При этом наиболее сложной является задача по ограничению нескольких параметров. Специфика такой задачи заключается в том, что ограничению подвергаются несколько разнородных величин со своими передаточными функциями, заведенными на один исполнительный механизм. Исходя из этого, в алгоритме регулятора должен быть предусмотрен соответствующий переключатель режима управления [5, 6].

Рассмотрим поставленную задачу на примере регулирования конкретного технологического оборудования — газотурбинного компрессора. В движение компрессор приводит газотурбинный двигатель. С позиции технологического процесса и обеспечения оптимальной задачи управления должна быть достигнута максимальная производительность компрессора. При этом установлены предельно допустимые максимальные значения таких параметров, как: скорость вала, температура выхлопных газов, давление и другие параметры, влияющие на достижение максимальной производительности. Превышение таких предельно допустимых максимальных значений невозможно. Органом управления компрессора будет топливный кран.

При достижении любым из параметров максимально допустимого значения, повышение подачи топлива прекращается и регулирование переходит на эту величину. Остальные параметры остаются заведомо меньше максимальной величины, достигнутой одним или несколькими параметрами. При повышении значений параметров до максимальных, технический персонал, обслуживающий оборудование (в данном примере компрессор), использует термин «встало на лимит». При этом встать на лимит компрессор может как по температуре, так и по давлению, и по оборотам, и по выхлопным газам, и по другим параметрам.

Когда режим работы меняется, любой из параметров, обеспечивающих работу компрессора, может достичь ограничения и компрессор «встанет на лимит» по другой величине. Например, на одном режиме работы газотурбинные компрессоры будут иметь лимит по оборотам, а на другом режиме работы лимит по температуре. Так, в алгоритме системы автоматического управления (далее — САУ) газотурбинных установок предусматривается специальный блок «LV GATE», в котором допустимо

осуществить выбор минимального значения управляющего воздействия регулятора. На рисунке 1 изображен пример регулирования газотурбинной установки.

На рисунке 1 приведен элементарный алгоритм САУ, раскрывающий процесс управления регулятором. Реальные алгоритмы САУ довольно сложны и разрабатываются для конкретных технологических установок. Учитывая сложность реальных алгоритмов САУ, достаточно актуальной научной задачей видится разработка упрощенного алгоритма для различных задач регулирования [2, 5].

Вместе с тем, для разработки упрощенного механизма необходимо решение проблемы с компенсацией насыщения. В установившемся для газотурбинной установки режиме регулирования будет являться линейным пропорционально-интегрально-дифференцирующим (далее — ПИД) регулированием. Однако в момент выхода на уставку и при переключении режима управления появляется интегральное насыщение ПИД регуляторов. Суть проблемы интегрального насыщения ПИД регуля-

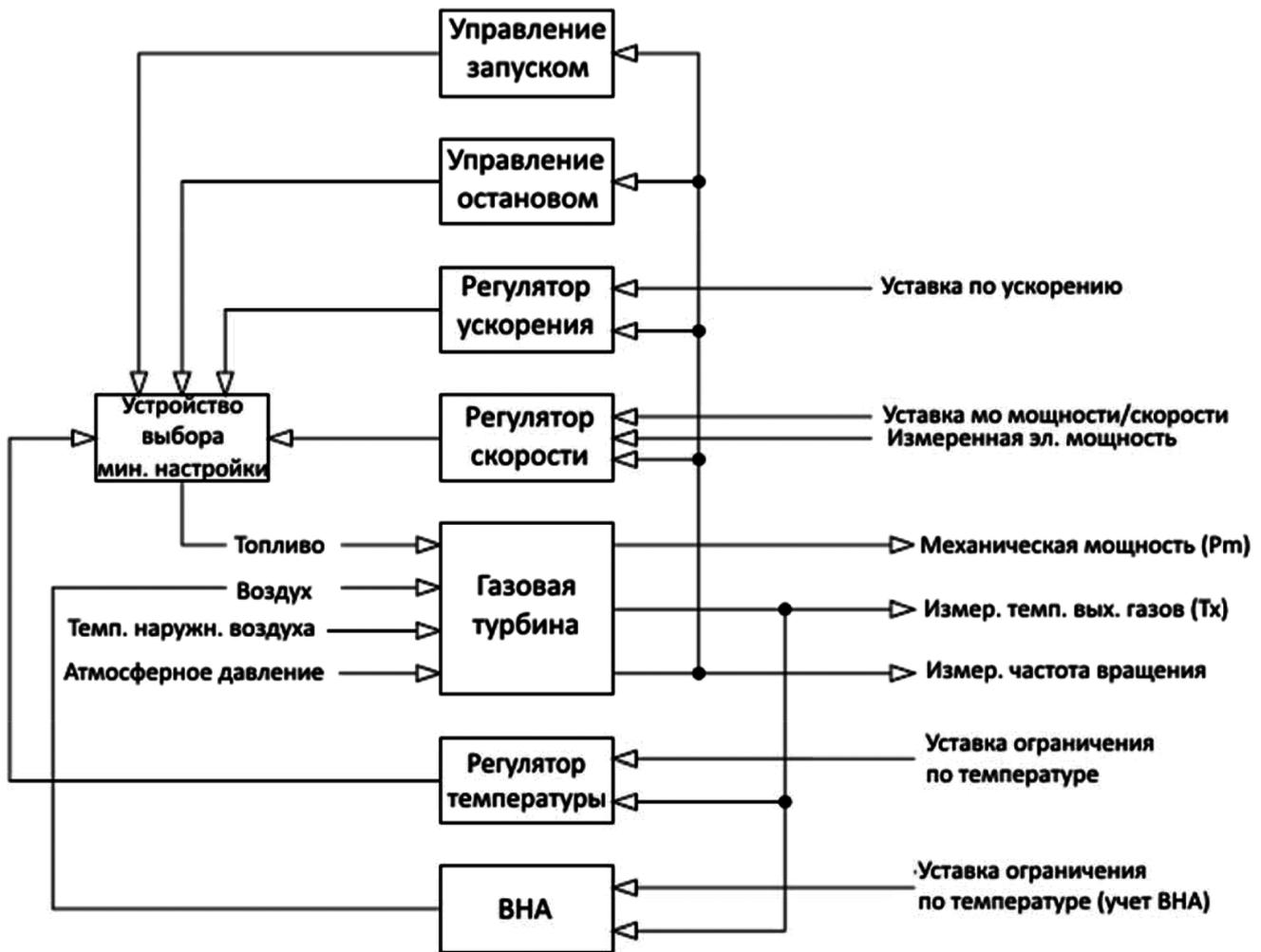


Рис. 1. Пример регулирования газотурбинной установки

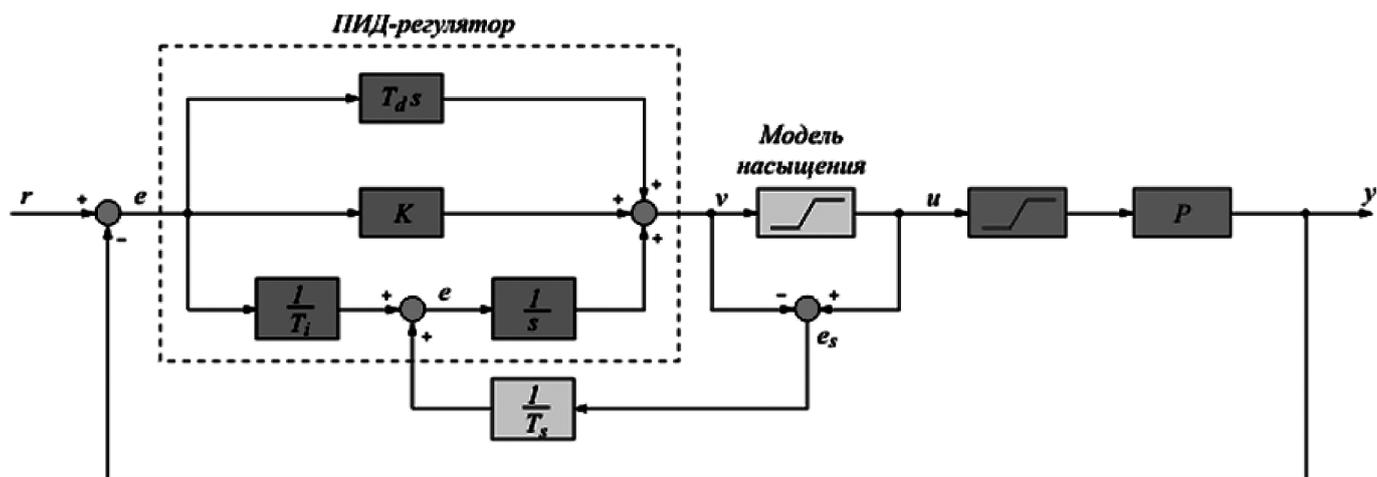


Рис. 2. Компенсация эффекта интегрального насыщения с помощью дополнительной обратной связи для передачи сигнала ошибки  $e_s$  на вход интегратора

торов заключается в том, что при достижении отдельных параметров такого насыщения система управления становится эквивалентной разомкнутой системе, что может привести к сбою или нарушению нормального функционирования тепловой системы [1, 7, 8].

Эффект интегрального насыщения можно ослабить, используя дополнительную обратную связь, отслеживающую выходную величину регулятора. Структура системы с таким компенсатором наглядно проиллюстрирована в работе [10] и показана на рисунке 2.

Принцип работы системы, представленной на рисунке 2, заключается в выработке в системе сигнала рассогласования между входом и выходом исполнительного устройства:  $e_s = u - v$  [10]. Сигнал на выходе исполнительного устройства либо измеряют, либо вычисляют, используя математическую модель, представленную на рисунке 2. Так, если сигнал ошибки  $e_s = 0$ , то компенсация эффекта интегрального насыщения не осуществляется, поскольку имеет место быть обычное линейное ПИД-регулирование.

При наличии интегрального насыщения сигнал ошибки  $e_s < 0$ , а  $v > u$ . При указанных значениях сигнал на входе интегратора уменьшается на величину ошибки, что приводит к замедлению роста сигнала на выходе, уменьшению сигнала рассогласования и величины выброса на переходной характеристике системы. Постоянная времени  $T_s$ , обозначенная в модели, представленной на рисунке 2, определяет степень компенсации сигнала рассогласования.

Для разработки упрощенного алгоритма необходимо объединение в одной схеме принципа выбора минимального воздействия и принципа компенсации насыщения. На рисунке 3 представлена упрощенная модель двух контуров газового компрессора.

В представленной на рисунке 3 модели «Y1», «Y2» — это регулируемые параметры компрессора; «r1», «r2» — это уставки; «R1», «R2» — ПИД регуляторы; «U1», «U2» — выходные величины ПИД регуляторов; «U» — результирующая выходная величина; «P» — объект; «W1», «W2» — передаточные функции объекта.

Теперь акцентируем внимание на описании работы технологического оборудования при использовании упрощенной модели. Количество контуров соответствует количеству входов — управляемых параметров. ПИД регуляторы работают параллельно. Если сделать предположение о том, что в процессе работы один из параметров объекта управления «Y1» достиг заданной уставки, то выходное воздействие ПИД регулятора «R1», отвечающего за эту величину, «U1» начнёт убывать. В то же время «U2» продолжит возрастать, так как «Y2» ниже заданной уставки.

Результирующий выход регуляторов будет равен минимальному значению из двух. Таким образом, «U» = «U1», «Y1» = «r1», «U2» > «U», «Y2» < «r2». На второй регулятор в это время будет действовать компенсация насыщения, не давая ему бесконечно возрастать. В результате регулирование осуществляется по параметру «Y1», который поддерживается максимальным, то есть объект управления «становится на лимит» по этому параметру.

Имея описание работы технологического оборудования при использовании упрощенной модели, продемонстрируем работу алгоритма, ограничивающего регулирование в программе «VisSim». При составлении схемы в программе «VisSim» коэффициенты передаточных функций и постоянные времени были подобраны случайно ввиду их необходимости для демонстрации работы алгоритма. Модель для двух контуров в «VisSim» представлена на рисунке 4 и содержит следующие переменные: «in» — задающее воздействие; «U1», «U2» — вы-

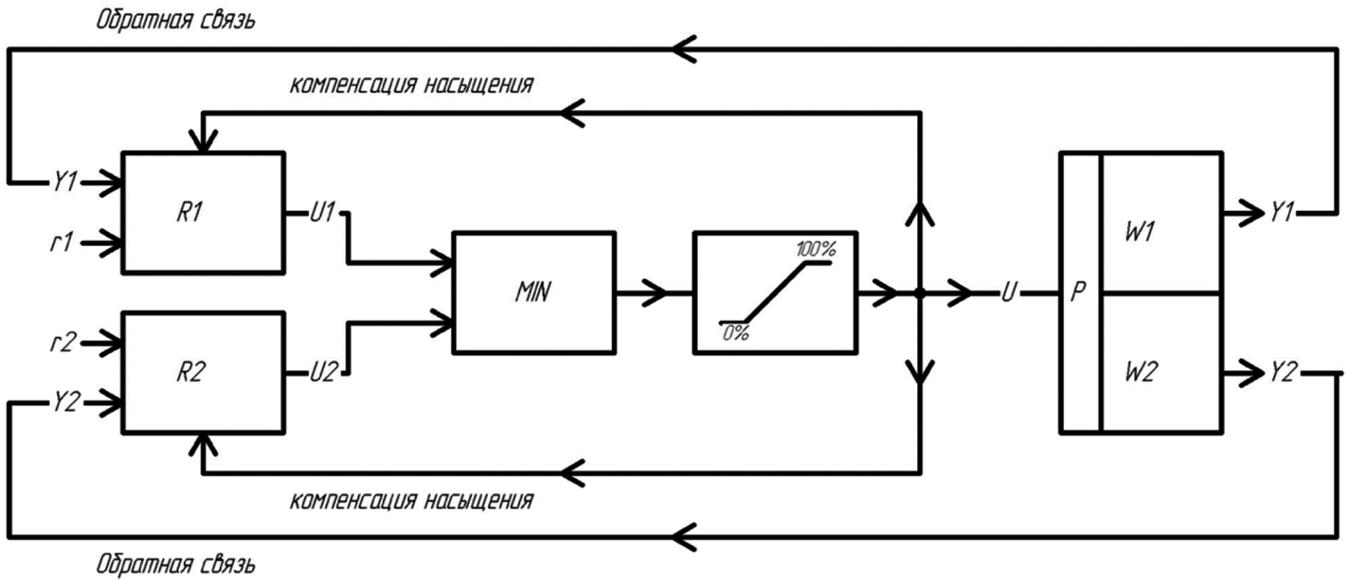


Рис. 3. Упрощённая модель для двух контуров

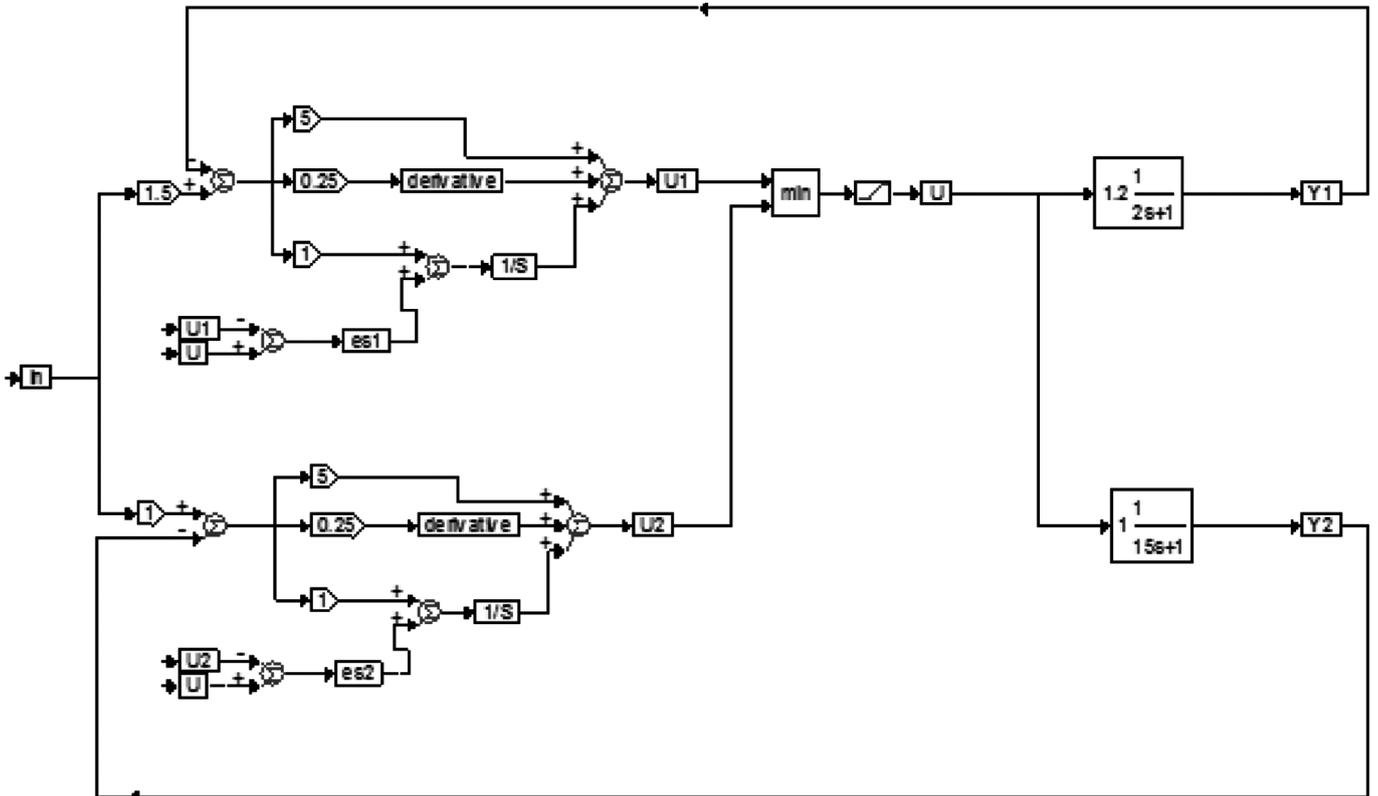


Рис. 4. Модель для двух контуров в VisSim

ходные величины ПИД-регуляторов; «U» — результирующая выходная величина; «Y1», «Y2» — регулируемые параметры; «es1», «es2» — компенсация насыщения.

Модель работы задающего воздействия представлена на рисунке 5.

Задающее воздействие представляет собой два ступенчатых воздействия: «+1» через одну секунду, «-0,5»

через 50 секунд, сглаженных фильтром. Что касается регулируемых параметров «Y1», «Y2» (рисунок 6), то «Y1» достигает ступени в «1.5», при этом регулирование происходит по параметру «Y1» примерно до 20 секунд.

При подходе «Y2» к ступени в «1.0» второй регулятор снижает выходное воздействие, а регулирование переключается на «Y2», при этом значение «Y» вынужденно снижается. На 50 секунде ступень снижается «1.0»

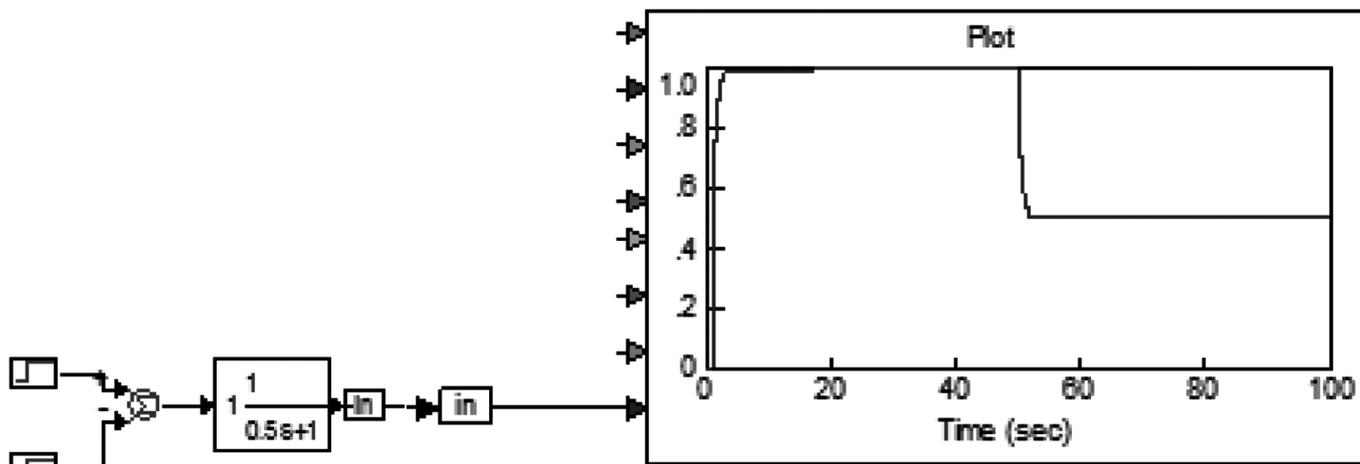


Рис. 5. Задающее воздействие «in»

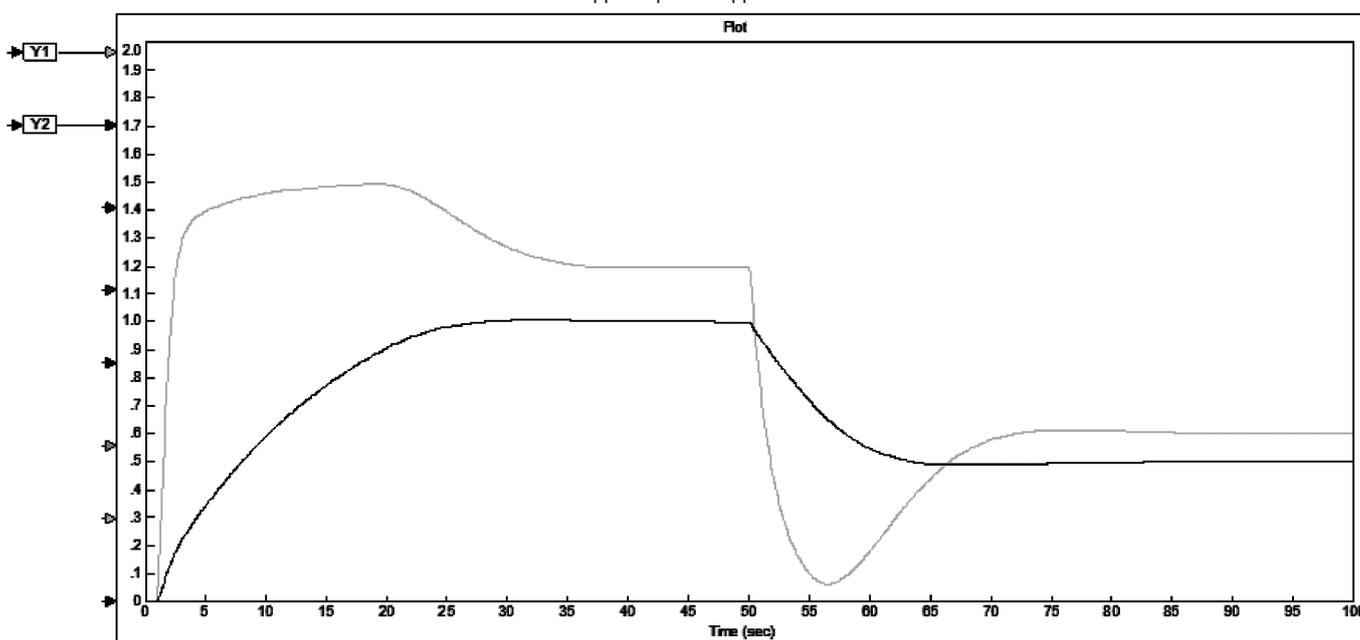


Рис. 6. Регулируемые параметры «Y1», «Y2»

до «0.5», а регулирование происходит по параметру «Y2», так как он значительно выше уставки в «0.5». На рисунке 7 представлено управляющее воздействие выходных величин «U1», «U2», «U».

Как видно из данных, представленных на рисунке, 7 «U» соответствует минимальному из «U1», «U2» с учетом ограничения насыщения регулятора от «0.0 до 2.0». Что касается компенсации насыщения, то она происходит при определенных параметрах (рисунок 8). Так, если «es1» = 0, то происходит линейное ПИД регулирование по «Y1», при «es2» = 0 регулирование осуществляется по параметру «Y2». Как видно из данных, представленных на рисунке 8, на «2» и «50» секунде «es1» и «es2» не равны 0 из-за ограничения «U» моделью насыщения регулятора.

Таким образом, представленный в программе алгоритм демонстрирует работу ограничивающего регулятора, достигающего заданных параметров при использовании упрощенной модели.

Подводя итог, отметим, что существующие алгоритмы систем автоматического управления характеризуются сложностью и уникальностью ввиду их разработки под конкретные технологические установки. Для решения отдельных задач регулирования в газовой отрасли в контексте настоящего исследования предложен подход к разработке упрощенного алгоритма, ориентированного на решение проблемы с компенсацией интегрального насыщения. Суть такой проблемы сводится к тому, что при достижении отдельных параметров при интегральном насыщении система управления становится эквивалентной разомкнутой системе, что может

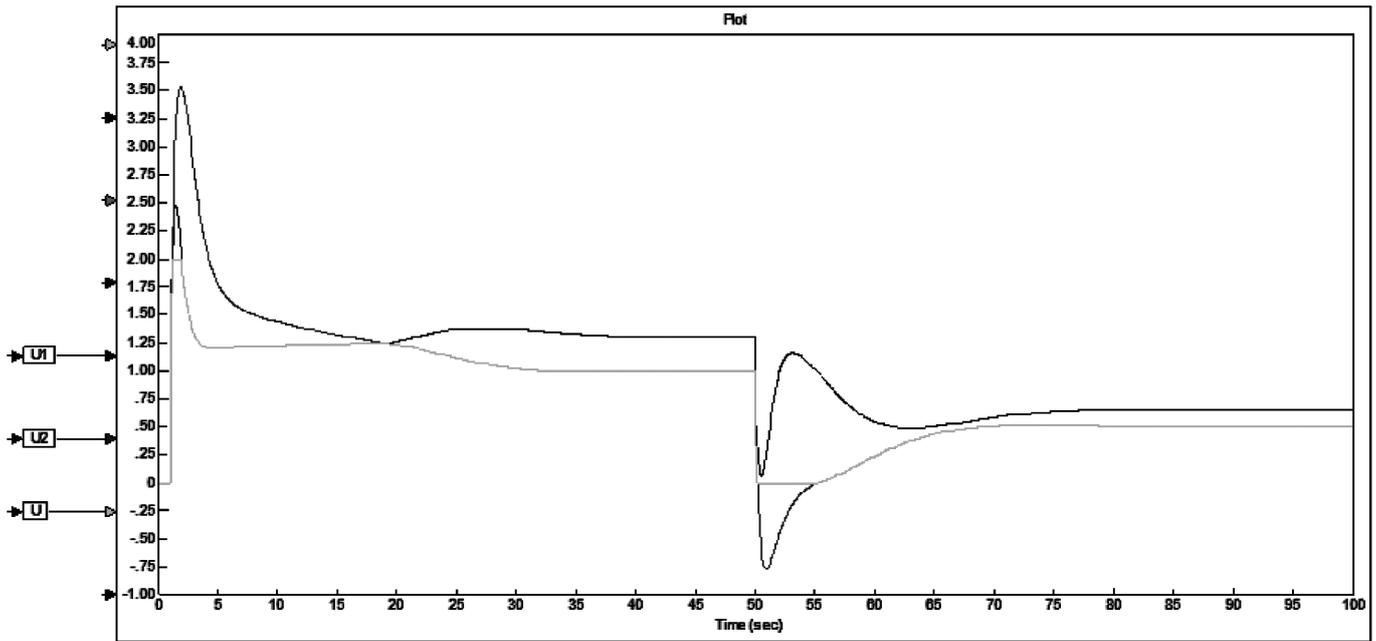


Рис. 7. Управляющее воздействие выходных величин «U1», «U2», «U»

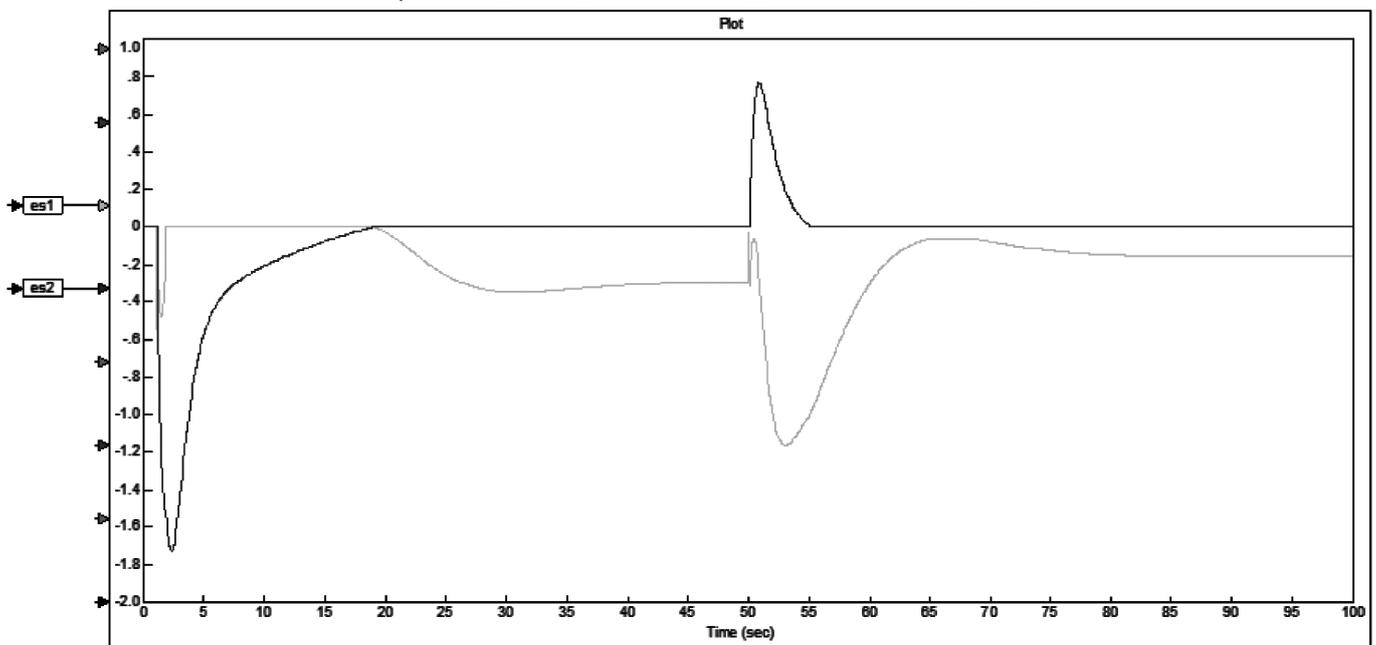


Рис. 8. Компенсация насыщения «es1», «es2»

привести к сбою или нарушению нормального функционирования отдельного оборудования и тепловой системы в целом. Предложенная и смоделированная в VisSim модель показывает, что в основу разработки упрощенного алгоритма необходимо заложить объединение в одной схеме принципа выбора минимального воздействия и принципа компенсации насыщения. Толь-

ко при заданных условиях будут достигнуты необходимые параметры работы и будет решена основная задача управления в процессе регулирования — поддержание максимальной производительности оборудования при запланированном или вынужденном ограничении одного или нескольких параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Автомонов С.А. Стельмашук С.В. Системы автоматического регулирования с компенсацией интегрального насыщения // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года. Том Часть 1. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет. 2022. С. 4–6.
2. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А. Методы управления робототехническими приложениями. Учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 108 с.
3. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Нгуен Ван Хуан Моделирование газотурбинной установки с прогностическими регуляторами напряжения и скорости // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. №3. С. 60–67
4. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. СПб: Наука, 2000. 549 с.
5. Рыбалев А.Н., Теличенко Д.А., Косицин В.Ю., Ахметшин Р.А., Белоусова А.В. Разработка и исследование алгоритмов и программ управления исполнительными механизмами систем автоматического регулирования // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2012. №57. С. 104–110.
6. Стельмашук С.В., Гурулёв А.А. Подчиненное управление многодвигательным электроприводом с последовательным соединением двигателей постоянного тока с независимым возбуждением // Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. №1. С. 403–411.
7. Фуртат И.Б. Динамическая компенсация возмущений в условии насыщения сигнала управления // УБС. 2017. №65. С. 24–40.
8. Astrom, K.J.; Hang, C.C.; Lim, B.C. A new Smith predictor for controlling a process with an integrator and long dead-time. — IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 39, Issue 2, 1994, p. 343–345.
9. Limit, Selector, and Override Controls. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://control.com/textbook/basic-process-control-strategies/limit-selector-and-override-controls/> (дата обращения: 18.11.2024 г.).
10. Денисенко В.В. Энциклопедия АСУ ТП. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.reallab.ru/bookasutp/> (дата обращения 18.11.2024 г.).

© Сыроваткин Роман Андреевич (Roman150190@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЭМУЛЯЦИЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА КЛАССИЧЕСКОМ ПК

## EMULATION OF QUANTUM COMPUTING PROCESSES FOR AUTOMATED CONTROL SYSTEMS ON A CLASSICAL PC

S. Tyryshkin

*Summary.* Currently, the possibilities of quantum computing do not leave scientists from various fields of science indifferent. To achieve acceleration, quantum algorithms use such physical effects as entanglement and superposition. However, these effects are difficult to reproduce on a large scale, which leads to problems of reliability and accuracy, as well as the need to use suitable quantum measurement procedures. The limitations of modern quantum computing devices have prompted the development of classical emulators, which can help in most studies of future quantum algorithms in various areas of their application. In the context of the above, the article is devoted to the consideration of the features of emulation of quantum computing processes for automated control systems on a classical PC. In the course of the study, the capabilities of classical analog equipment for emulating the properties of superposition and entanglement, thereby simulating quantum parallelism to achieve similar speeds are considered.

*Keywords:* quantum computing, emulation, speed, algorithm, signal.

Тырышкин Сергей Юрьевич

к.т.н., Алтайский государственный  
технический университет им. И.И. Ползунова  
service.vip-spe@yandex.ru

*Аннотация.* В настоящее время возможности квантовых вычислений не оставляют равнодушными ученых из самых разных отраслей науки. Для достижения ускорения квантовые алгоритмы используют такие физические эффекты, как запутанность и суперпозиция. Однако, эти эффекты трудно воспроизвести в больших масштабах, что приводит к проблемам надежности и точности, а также к необходимости использования подходящих процедур квантовых измерений. Ограничения современных квантовых вычислительных устройств подтолкнули к разработке классических эмуляторов, которые могут помочь в большинстве исследований будущих квантовых алгоритмов в различных областях их применения. В контексте вышесказанного, статья посвящена рассмотрению особенностей эмуляции квантовых вычислительных процессов для автоматизированных систем управления на классическом ПК. В процессе исследования рассмотрены возможности классического аналогового оборудования для эмуляции свойств суперпозиции и запутанности, позволяющих имитировать квантовый параллелизм для достижения схожих скоростей.

*Ключевые слова:* квантовые вычисления, эмуляция, скорость, алгоритм, сигнал.

### Введение

Компьютерные технологии давно поддерживают науку и инновации, имитируя явления реального мира. Однако некоторые уровни физического моделирования находятся за пределами вычислительных возможностей даже самых мощных суперкомпьютеров [1]. Но там, где заканчивается потенциал классических вычислений, на повестку дня выходят возможности квантовой механики.

На высоком уровне квантовые вычисления представляют собой новую технологию, которая является одним из наиболее перспективных приложений для квантового моделирования. Данная революционная идея согласовывает теорию вычислений с квантовой физикой и демонстрирует большие перспективы. Квантовые вычисления могут использовать состояния запутанных кубитов для решения проблем, с которыми, как считается, традиционные цифровые компьютеры не в состоянии справиться, а также для существенного улучшения уже имеющихся решений. Этими кубитами, которые обычно состоят из фотонов, атомов или ионов, можно манипу-

лировать только с помощью специально спроектированных сигналов с точно контролируемой энергией, которая едва превышает энергию вакуума и изменяется в течение наносекунд [2].

Использование квантовых компьютеров для моделирования квантовых систем может позволить исследователям более точно воссоздавать молекулярную динамику, запустив инновации и революционизировав процесс материаловедения и открытий для многочисленных отраслей вычислительной парадигмы, которая в корне отличается от классических компьютеров. Особое значение квантовые алгоритмы имеют для усовершенствования и развертывания передовых автоматизированных систем управления. Например, в области оптимизации производственных потоков и управления сложной робототехникой, также с целью проведения прогнозной аналитики и более комплексного контроля качества с использованием технологии моделирования и непрерывного тестирования компонентов в процессе их производства.

Однако, развитие этой прорывной технологии сдерживают существующие технические сложности, которые

ограничивают возможности современных квантовых компьютеров. Они страдают от проблем неполной связности кубитов и нетривиальной вероятности ошибок. Поэтому, чтобы облегчить разработку квантовых алгоритмов, пока решаются инженерные вопросы, исследователи работают над проектированием квантовых симуляторов, которые позволяют классическим компьютерам вести себя как квантовые в небольших масштабах.

Таким образом, научно-практическая значимость изучения возможностей квантовой эмуляции, как альтернативного подхода, который может быть полезен на практике, предопределила выбор темы данной статьи.

Над вопросами использования классических систем для эмуляции квантовых компьютеров, что может иметь практические преимущества, поскольку такие устройства проще в создании и более устойчивы к декогеренции, по сравнению с настоящими квантовыми компьютерами, трудятся такие исследователи как: Shankari V. Rajagopal, Kurt M. Fujiwara, Ruwan Senaratne, Kevin Singh, Zachary A. Geiger, David M. Weld

Идею разработки аналогового компьютера в гильбертовом пространстве, который использует электронные схемы для представления и манипулирования условным квантовым состоянием, развивают в своих трудах Caveed Mahmud, Esam El-Araby, David Caliga, Svetlana Vlasenko, Alexander Mikhalychev, Samaneh Pakniyat, George Hanson, Amir Boag, Gregory Slepuyan,

Масштабируемая архитектура с использованием конвейеризации для четырехкубитной эмуляции алгоритма поиска Гровера и квантового преобразования Фурье описывается в работах Zhye Yin, Pengwei Wu, Ashish Manohar, Elliot R. McVeigh, Jed D. Pack, Mario Motta, Julia E. Rice.

Высоко оценивая имеющиеся на сегодняшний день труды и наработки, следует отметить, что существует еще широкий спектр вопросов, решения по которым не найдено. К ним, например, относятся проблемы громоздкого процесса спектрального разложения и повторного синтеза для каждой операции со стробами. Кроме того, хотя эмуляция на основе полевых программируемых вентильных матриц обеспечивает удобство, она не может сравниться с мощностью и компактностью аналогового эмулятора с точки зрения вычислительной эффективности.

Таким образом, *цель статьи* заключается в рассмотрении ключевых аспектов эмуляции квантовых вычислительных процессов для автоматизированных систем управления на классическом ПК.

*Методы:* теория квантовых вычислений, методы моделирования, формализации, алгоритмизации и реализации моделей с использованием современных компьютерных средств.

## Результаты

В отличие от цифрового моделирования, эмуляция на специальном оборудовании, использует преимущества присущих им возможностей распараллеливания для выполнения нескольких квантовых преобразований, в идеале завершая любую операцию со стробами за один такт, независимо от количества кубитов [3]. Хотя эмуляторы и достигают первоначальной временной сложности квантового компьютера, им все равно требуется экспоненциально больше ресурсов, чем их квантовым аналогам. Это связано с тем, что не существует классического эквивалента суперпозиции, позволяющего хранить  $2^n$  состояний в  $n$  битах.

Эмуляция квантовых схем требует переноса концепций из квантовой физики на классические технологии. Главная цель — смоделировать квантовые вычисления таким образом, чтобы они были более гибкими и эффективными, чем программные симуляторы. Поскольку большинство квантовых алгоритмов требуют экспоненциального количества ресурсов при моделировании с помощью классических технологий, управление ресурсами является ключевым вопросом проектирования [4]. Вторая цель — эмуляция параллелизма в квантовых вычислениях с помощью ПЛИС. Наконец, желательно, чтобы инструмент моделирования был прост в использовании и чтобы построение модели не требовало значительных усилий от разработчика.

Общий процесс проектирования показан на рисунке 1.



Рис. 1. Схема моделирования квантовых схем с использованием классических технологий

На первом этапе исследования представляется целесообразным формализовать физическое представление

структуры гильбертова пространства квантового компьютера в терминах классических сигналов. Для этого необходимо провести спецификацию соответствующих математических объектов.

Состояние  $n$ -кубитного квантового компьютера может быть представлено элементом  $|\psi\rangle$   $2^n$ -мерного гильбертова пространства  $\mathcal{H}$ , имеющего конкретную форму тензорного произведения, обозначаемых как  $\mathcal{H}_0, \dots, \mathcal{H}_{n-1}$  так, что  $\mathcal{H} = \mathcal{H}_{n-1} \otimes \dots \otimes \mathcal{H}_0$ . Один элемент одного из  $n$  составляющих гильбертовых пространств представляет собой бит. Указание внутреннего произведения  $\langle \phi | \psi \rangle$  между состояниями  $|\phi\rangle$  и  $|\psi\rangle$  завершает описание гильбертова пространства. Тогда нормаль  $|\psi\rangle$  может быть определена как  $\|\psi\| := \sqrt{\langle \psi | \psi \rangle}$ .

Обозначим через  $|0\rangle_i$  и  $|1\rangle_i$  пару ортонормальных базисных состояний, называемых вычислительным базисом, для  $\mathcal{H}_i$  и  $i \in \{0, \dots, n-1\}$ . Взяв тензорное произведение этих индивидуальных базисных состояний, получаем набор из  $2^n$  ортонормированных базисных состояний для пространства произведений  $\mathcal{H}$ . Таким образом, конкретная двоичная последовательность  $x_0, \dots, x_{n-1}$  соответствует одному базисному состоянию  $|x_{n-1}\rangle_{n-1} \otimes \dots \otimes |x_0\rangle_0$ . Для краткости эту двоичную последовательность можно представить в десятичной форме  $x = x_0 2^0 + \dots + x_{n-1} 2^{n-1} \in \{0, \dots, 2^n - 1\}$  так, что соответствующее базисное состояние можно кратко записать как  $|x\rangle$  или иногда  $|x_{n-1} \dots x_0\rangle$ . Пусть  $\langle \phi | \psi \rangle = a_x \in \mathbb{C}$  для данного состояния  $|\phi\rangle \in \mathcal{H}$  и базисного состояния  $|x\rangle$ . В этом случае утверждение принимает следующий вид:

$$|\psi\rangle = \sum_{x=0}^{2^n-1} a_x |x\rangle$$

Перейдем к представлению двумерного гильбертова пространства, представляющего один кубит. Состояние кубита записывается как  $|\phi\rangle = a_0 |0\rangle + a_1 |1\rangle$  в вычислительном базисе, где  $a_0, a_1 \in \mathbb{C}$ . Пусть  $a_0 = \text{Re}[a_0] + j \text{Im}[a_0], a_1 = \text{Re}[a_1] + j \text{Im}[a_1]$ .

Цель заключается в моделировании квантового состояния как комплексного сигнала, который модулирует несущую с частотой  $\omega_c$ . Другими словами, необходимо найти функцию  $\psi : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$  для которой:

$$s(t) = \text{Re}[\psi(t) e^{j\omega_c t}]$$

представляет собой квантовое состояние  $|\phi\rangle$ . Это может быть достигнуто путем амплитудной модуляции несущей (с частотой  $\omega_c$ ) тональным сигналом с частотой  $\omega < \omega_c$ .

Для синфазной и квадратурной составляющих комплексного сигнала с базовой полосой удобно использовать не синусы и косинусы, а комплексные экспоненты [5]. Таким образом имеем следующее выражение:

$$\psi(t) = a_0 e^{j\omega t} + a_1 e^{-j\omega t}$$

а также функции  $\phi_0^\omega$  и  $\phi_1^\omega$ , заданные:

$$\phi_0^\omega := e^{j\omega t}$$

$$\phi_1^\omega := e^{-j\omega t}$$

с вычислительными базисными компонентами  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ , соответственно.

Подставляя эти выражения, находим, что вещественный одноквитовый сигнал  $s$  задается комплексным одноквитовым состоянием  $\psi$  следующим с помощью следующих выражений:

$$s(t) = \psi_R(t) \cos(\omega_c t) - \psi_I(t) \sin(\omega_c t)$$

где  $\psi(t) = \psi_R(t) - j\psi_I(t)$  и

$$\psi_R(t) = (a_0 + a_1) \cos(\omega t) - (b_0 + b_1) \sin(\omega t)$$

$$\psi_I(t) = (b_0 - b_1) \cos(\omega t) - (a_0 - a_1) \sin(\omega t)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что действительная и мнимая части  $\psi$  служат синфазной и квадратурной составляющими, модулирующими несущий сигнал. Принципиальная схема этого процесса показана на рисунке 2. Отображение от  $\psi$  к  $s$  можно изменить на противоположное с помощью процесса демодуляции. Как и в случае нулевых кубитов, этого можно достигнуть, поочередно умножая  $s(t)$  на синфазный,  $\cos(\omega_c t)$ , и квадратурный,  $-\sin(\omega_c t)$ , сигналы, а затем выполняя низкочастотную фильтрацию.

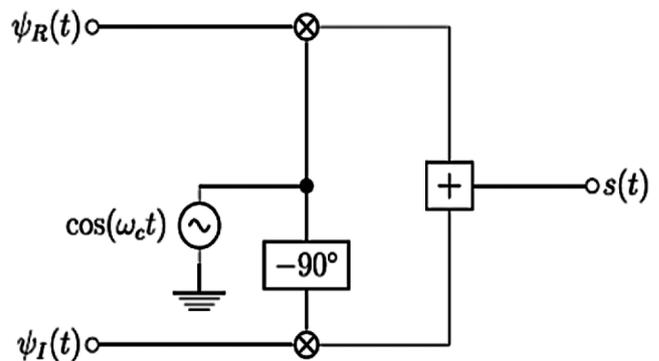


Рис. 2. Модуляция сигнала для получения  $s$  из  $\psi$ . Символ  $\otimes$  представляет собой четырехквadrанный умножитель

Обсуждение

Как известно, все ворота — это просто матричные операции над векторами состояний. Рассмотрим однокубитные Хадамардовские ворота, действующие на кубит, определенный следующим образом:

$$H|\psi_a\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_r \sin(\omega t) \\ \beta_r \sin(\omega t) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} (\alpha_r + \beta_r) \sin(\omega t) \\ (\alpha_r - \beta_r) \sin(\omega t) \end{bmatrix}$$

где подстрочный индекс в  $|\psi_a\rangle$  указывает на то, что кубит находится в аналоговой области. Для простоты мнимые компоненты не показаны, так как численные выражения одинаковы как для действительной, так и для мнимой части. Операция Хадамарда над одним кубитом показана на рис. 3.

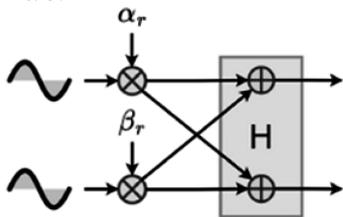


Рис. 3. Реализация ворот Хадамарда в аналоговой области, где на входе находится синусоида с амплитудами  $\alpha_r$  и  $\beta_r$

Аналогично, рассмотрим одноэкубитные X-шлюз и Z-шлюз, действующие на  $|\psi_a\rangle$ :

$$X|\psi_a\rangle = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_r \sin(\omega t) \\ \beta_r \sin(\omega t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_r \sin(\omega t) \\ \alpha_r \sin(\omega t) \end{bmatrix}$$

$$Z|\psi_a\rangle = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_r \sin(\omega t) \\ \beta_r \sin(\omega t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_r \sin(\omega t) \\ -\beta_r \sin(\omega t) \end{bmatrix}$$

Схемные реализации ворот X и Z показаны на рис. 4.

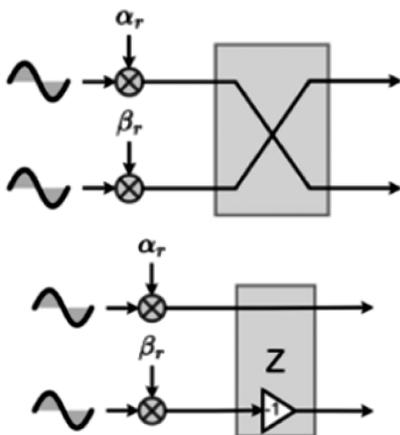


Рис. 4. Реализация X и Z ворот в аналоговой области, где на входе находится синусоида с амплитудами  $\alpha_r$  и  $\beta_r$

Работа с матрицей показана ниже, а реализация на уровне схемы представлена на рис. 5:

$$CNOT|\psi_a\rangle = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_r \sin(\omega t) \\ \beta_r \sin(\omega t) \\ \gamma_r \sin(\omega t) \\ \delta_r \sin(\omega t) \end{bmatrix}$$

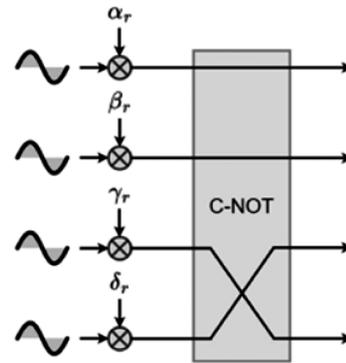


Рис. 5. Реализация затвора CNOT в аналоговой области, где на входе синусоидальные сигналы с амплитудами  $\alpha_r, \beta_r, \gamma_r$  и  $\delta_r$

На следующем этапе исследования рассмотрим эмуляцию запутывания.

Ворота, приводящие к запутыванию, требуют значительно больше ресурсов, чем ворота, в которых запутывание не происходит. Именно по этой причине эффективное моделирование квантовых вычислений затруднено на классических вычислительных устройствах [6]. Рассмотрим двухвходовые ворота CNOT и ситуацию, когда управляемый кубит находится в суперпозиции. В этом случае работа ворот описывается следующим образом:

$$|\psi_{control}\rangle = \alpha_1|0\rangle + \beta_1|1\rangle$$

$$|\psi_{target}\rangle = \alpha_2|0\rangle + \beta_2|1\rangle$$

$$|\psi_{out}\rangle = \alpha_1\alpha_2|00\rangle + \alpha_1\beta_2|01\rangle + \beta_1\beta_2|10\rangle + \beta_1\alpha_2|11\rangle$$

В запутанном состоянии кубиты не могут быть представлены по отдельности. Для случая двух кубитов  $|\psi_1\rangle$  и  $|\psi_2\rangle$ , когда они не запутаны, их можно формализовать как два дистриктивных кубита  $|\psi_1\rangle|\psi_2\rangle$ . Однако после запутывания кубиты могут быть выражены только в форме  $|\psi_1\psi_2\rangle$ .

И в завершении отметим, что квантовые измерения и вероятностный характер квантовых алгоритмов в настоящее время поддерживаются непосредственно с помощью комбинации аппаратных и программных средств. Из-за сложности алгоритмов квантовых измерений (которые исследуются и разрабатываются парал-

тельно) в настоящее время используется программное моделирование квантовых измерений. Однако учитывая современный уровень развития техники и наметившийся прогресс можно предвидеть возможность эмуляции квантовых измерений в аппаратных средствах, как только их алгоритмы будут разработаны и станут стабильными. Чтобы выполнить измерение аппаратным способом, достаточно, чтобы вероятности обнаружения каждого состояния были предварительно вычислены программным компонентом и сохранены в аппаратуре. Затем эти вероятности могут быть использованы в качестве весов для эмуляции случайного обнаружения состояний (см. рис. 6).

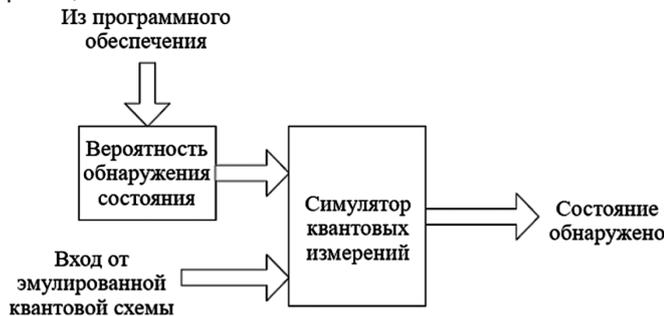


Рис. 6. Эмуляция вероятностных квантовых вычислений

### Заключение

Подводя итоги проведенному исследованию, можно сделать следующие выводы. В статье рассмотрены особенности классической эмуляции квантовой системы с использованием стандартного ПК. Установлено, что квантовое состояние отождествляется с комплексным базовым сигналом с временной областью. Этот сигнал может быть представлен как два отдельных реальных сигнала (представляющих реальную и мнимую части) или использоваться для модуляции высокочастотной несущей, чтобы получить один реальный сигнал.

Эмулятор позволяет простым способом строить достаточно сложные квантовые схемы из библиотеки компонентов. В то же время он эмулирует параллелизм, присутствующий в квантовых компьютерах, путем построения параллельных путей эволюции для каждого квантового бита. Эмулятор также может включать в себя другие концепции квантовых вычислений, такие как квантовая коррекция ошибок, отказоустойчивые квантовые вычисления и методы квантовых измерений. Это будет особенно полезно при разработке практических систем для квантовых компьютеров.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Naveed Mahmud, Esam El-Araby Scaling reconfigurable emulation of quantum algorithms at high precision and high throughput // Quantum Engineering. 2019. Volume 1, Issue 2. P. 45–53.
2. Ming-Jie Tao, Ming Hua Quantum simulation of clustered photosynthetic light harvesting in a superconducting quantum circuit // Quantum Engineering. 2020. Volume 2, Issue 3. P. 111–119.
3. Gheorghe Sorin Paraoanu Engineering Dissipation with Resistive Elements in Circuit Quantum Electrodynamics // Advanced Quantum Technologies. 2021. Volume 4, Issue 11. P. 56–63.
4. Amine Zeguendry, Zahi Jarir Quantum-Enhanced K-Nearest Neighbors for Text Classification: A Hybrid Approach with Unified Circuit and Reduced Quantum Gates // Advanced Quantum Technologies. 2024. № 67. P. 190–198.
5. Gui-Long Jiang Optimal Quantum Circuits for General Multi-Qutrit Quantum Computation // Advanced Quantum Technologies. 2024. Volume 7. P. 67–75.
6. Arpita Sanyal Bhaduri, Amit Saha Circuit design for clique problem and its implementation on quantum computer // IET Quantum Communication. 2021. Volume 3, Issue 1. P. 20–9.

# МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕЖЦЕХОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ<sup>1</sup>

**Хрусталева Ирина Николаевна**

кандидат технических наук,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

[irina.khrustaleva@mail.ru](mailto:irina.khrustaleva@mail.ru)

## THE OPTIMIZATION MODEL OF THE INTER-SHOP TRANSPORT OPERATIONS PARAMETERS

**I. Khrustaleva**

**Summary.** The paper discusses the issues of multi-criteria optimization of target indicators of the process of cargo movement between individual production units of a machine-building enterprise. The transport system is one of the key elements of the logistics system at the machine-building enterprise. Thus, optimizing the parameters of transport operations is one of the key tasks of the logistics system of a machine-building enterprise. The paper presents a structural hierarchical model for optimizing the parameters of transport operations implemented between individual production units of the enterprise — inter-shop transport operations. The structure of the optimization model of inter-shop transport routes includes two control levels: transport operation, transport route. For each control level, groups of targets and control parameters are defined, as well as boundary conditions for the model implementation. The task of the first management level is to optimize the structure of the transport operation. The second control level optimizes the structure of the transport route. The paper presents the practical implementation of the developed optimization model using the example of an inter-shop transport route. As part of the study, the structure of the transport operation of the transport route was optimized. The paper presents the results of optimization of the structure of the inter-shop transport route, consisting of six transport sections, within which 15 consignments of goods with a total weight of 2.225 tons are transported. The parameters of the transport route were determined on the basis of multi-criteria optimization based on the following target indicators: labor intensity of the transport route, the value of operational costs for the implementation of the transport route (OPEX), the coefficient of efficiency of using the vehicle for carrying capacity, the coefficient of efficiency of the transport route for the time of delivery of cargo, the length of the transport route.

**Keywords:** Multi-Criteria Optimization, Inter-shop Transport Route, Transportation Section, Targets, Enterprise Logistics System.

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы многокритериальной оптимизации целевых показателей процесса перемещения грузов между отдельными производственными подразделениями машиностроительного предприятия. Транспортная система является одним из ключевых элементов системы логистики на машиностроительном предприятии. Таким образом, оптимизация параметров транспортных операций, является одной из ключевых задач системы логистики машиностроительного предприятия. В работе представлена структурная иерархическая модель оптимизации параметров транспортных операций, реализуемых между отдельными производственными подразделениями предприятия — межцеховые транспортные операции. Структура оптимизационной модели межцеховых транспортных маршрутов включает в себя два уровня управления: транспортная операция, транспортный маршрут. Для каждого уровня управления определены группы целевых показателей и параметров управления, а также граничные условия реализации модели. Задачей первого уровня управления является оптимизация структуры транспортной операции. На втором уровне управления производится оптимизация структуры транспортного маршрута. В работе представлена практическая реализация разработанной оптимизационной модели на примере межцехового транспортного маршрута. В рамках исследования проведена оптимизация структуры транспортной операции транспортного маршрута. В работе представлены результаты оптимизации структуры межцехового транспортного маршрута, состоящего из шести транспортных участков, в рамках которых производится перемещение 15 партий грузов общей массой 2,225 т. Определение параметров транспортного маршрута производилось на основе многокритериальной оптимизации на основе следующих целевых показателей: трудоемкость реализации транспортного маршрута, величина операционных затрат на реализацию транспортного маршрута (OPEX), коэффициент эффективности использования транспортного средств по грузоподъемности, коэффициент эффективности транспортного маршрута по времени доставки груза, длина транспортного маршрута.

**Ключевые слова:** многокритериальная оптимизация, межцеховой транспортный маршрут, транспортный участок, целевые показатели, логистическая система предприятия.

## Введение

Уровень эффективности производственной системы предприятия напрямую зависит от эффективности функционирования отдельных его подсистем [1,2].

Транспортные операции является неотъемлемой частью производственного процесса машиностроительного предприятия. В рамках системы логистики машиностроительного предприятия можно выделить три категории транспортных операций: межцеховое перемещение

<sup>1</sup> Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 23–29–00551 от 13.01.2023 «Методы и алгоритмы построения интеллектуальных киберфизических систем для обеспечения семантической интероперабельности».

грузов, внутрицеховое перемещение грузов и перемещение грузов в рамках складского помещения. Эффективность реализации каждой категории транспортных операций непосредственно влияет на общую эффективность системы логистики и производственного процесса в целом.

В рамках данной работы будет рассмотрен вопрос оптимизации транспортных маршрутов, реализуемых между отдельными производственными подразделениями предприятия — межцеховая транспортная система предприятия (МцТрС).

Для повышения эффективности производственной деятельности промышленного предприятия необходимо построение эффективных цепочек поставок в рамках производственной системы [3,4].

Стремительное развития цифровых технологий является ключевым фактором для разработки и внедрения более эффективных методов проектирования и анализа логистических систем, а также их управления [5-7].

В настоящее время логистика является быстроразвивающейся отраслью науки, в рамках которой производится решение трудоемких задач по моделированию и оптимизации сложных процессов, предусматривающих анализ большого объема данных [8–11] с применением инструментов Data Science [12,13]. Повышение уровня цифровизации в области логистики позволяет внедрять системы, в основе которых более сложных алгоритмах и математических моделях [14–20].

Целью работы является повышение эффективности процессов планирования и управления транспортными межцеховыми потоками. Объектом исследования является межцеховая транспортная операция.

**Модель оптимизации межцеховых транспортных операций**

Модель оптимизации процесса межцехового перемещения грузов имеет два уровня управления:

1. Уровень №1: Межцеховая транспортная операция.
2. Уровень №2: Межцеховой транспортный маршрут.

В рамках первого уровня управления производится формирование и оптимизация структур отдельных межцеховых транспортных операций. Формирование структуры межцеховых транспортных операций производится на основе множеств единичных межцеховых транспортных операций (ЕдМцТО), сформированных для соответствующих единиц транспортных средств, —  $M_{ikn}^{ЕдМцТО}$ . Единичная межцеховая транспортная опера-

ция — это транспортная операция, в рамках которой производится перемещение партии груза в пределах одного межцехового транспортного участка (МцТрУ).

В рамках первого уровня управления определены следующие задачи оптимизации: оптимизация средних значений величин трудоемкости, операционных затрат и коэффициента использования грузоподъемности транспортного средства для соответствующей межцеховой транспортной операции; оптимизация общей массы перемещаемого груза в рамках соответствующей межцеховой транспортной операции.

Оптимизация параметров межцеховой транспортной операции производится на основе векторного критерия оптимизации (1):

$$F_1^{МцТрОп} (U_1^{МцТрОп}) = (OPEX_{ikn}^{МцТрОп})_{1..l}^{cp} (U_1^{МцТрОп}),$$

$$\left( T_{ikn}^{МцТрОп} \right)_{1..l}^{cp} (U_1^{МцТрОп}), \left( M_{ikn}^{гп} \right)_{1..l}^{МцТрОп} (U_1^{МцТрОп}),$$

$$\left( (K_s^G)_{ikn1..l}^{cp} \right)_{1..l}^{МцТрОп} (U_1^{МцТрОп})$$

где  $F_1^{МцТрОп}$  — векторный критерий оптимизации для межцеховой транспортной операции;  $U_1^{МцТрОп}$  — множество параметров управления для оптимизации структуры межцеховой транспортной операции;  $\left( T_{ikn}^{МцТрОп} \right)_{1..l}^{cp}$  — средняя величина трудоемкости реализации 1...l-ой межцеховой транспортной операции, выполняемой с применением транспортного средства i-ого типа k-ой группы n-ого наименования, мин.;  $\left( OPEX_{ikn}^{МцТрОп} \right)_{1..l}^{cp}$  — средняя величина операционных затрат, возникающих в результате реализации 1...l-ой межцеховой транспортной операции, выполняемой с применением транспортного средства i-ого типа k-ой группы n-ого наименования, мин.;  $\left( M_{ikn}^{гп} \right)_{1..l}^{МцТрОп}$  — общая масса груза, перемещаемого в рамках 1...l-ой межцеховой транспортной операции, реализуемой с применением транспортного средства i-ого типа k-ой группы n-ого наименования, кг.;  $\left( (K_s^G)_{ikn}^{cp} \right)_{1..l}^{МцТрОп}$  — среднее значение коэффициента использования грузоподъемности транспортного средства i-ого типа k-ой группы n-ого наименования, применяемого для реализации 1...l-ой межцеховой транспортной операции.

Определены следующие критерии оптимизации и граничные условия реализации модели для первого уровня управления:

- Критерии оптимизации:  $\left( OPEX_{ikn}^{МцТрОп} \right)_{1..l}^{cp} \rightarrow \min,$
- $\left( T_{ikn}^{МцТрОп} \right)_{1..l}^{cp} \rightarrow \min,$   $\left( M_{ikn}^{гп} \right)_{1..l}^{МцТрОп} \rightarrow \max,$
- $\left( (K_s^G)_{ikn}^{cp} \right)_{1..l}^{МцТрОп} \rightarrow \max.$

- Граничные условия реализации модели (2)–(5):

$$\sum_{l=1}^t (OPEX_{ikn}^{MцТрОп})_l^{cp} \leq OPEX^{CMцТрГ} \quad (2)$$

$$\sum_{l=1}^t (T_{ikn}^{MцТрОп})_l^{cp} \leq T^{CMцТрГ} \quad (3)$$

$$(M_{ikn}^{Гр})_l^{MцТрОп} \leq G_{ikn}^{TC} \cdot (N_{ikn}^{ТрУ})_l^{MцТрОп} \quad (4)$$

$$\left( (K_s^G)_{ikn}^{cp} \right)_l^{MцТрОп} \geq \left( (K_s^G)_{ikn}^{cp} \right)_l^{min} \quad (5)$$

где  $OPEX^{CMцТрГ}$  — величина операционных затрат, возникающих в рамках межцеховой транспортной системы, руб.;  $T^{CMцТрГ}$  — величина трудоемкости реализации

транспортных операций в рамках межцеховой транспортной системы, ч.;  $G_{ikn}^{TC}$  — грузоподъемность транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, т.;  $\left( (K_s^G)_{ikn}^{cp} \right)_l^{min}$  — минимальное среднее значение коэффициента использования грузоподъемности транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, применяемого для реализации  $l$ -ой межцеховой транспортной операции;  $t$  — количество межцеховых транспортных операций, реализуемых с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, шт.

Определена структура модели для оптимизации параметров межцеховой транспортной операции (6).

$$\left\{ \begin{array}{l} (OPEX_{ikn}^{MцТрОп})_l^{cp} = \left( (OPEX_{ам}^{MцТрОп})_{ikn}^{cp} \right)_l + \left( (OPEX_{рем/обсл}^{MцТрОп})_{ikn}^{cp} \right)_l \rightarrow \min \\ (T_{ikn}^{MцТрОп})_l^{cp} = \frac{(l_{ikn}^{MцТрУ})_l^{cp} \cdot (N_{ikn}^{MцТрУ})_l}{60000 \cdot V_{ikn}^{TC}} + \frac{(t_{ep}^{ПРО})_{ikn}^{MцТрОп} \cdot (N_{ikn}^{ПРО})_{ikn}^{MцТрОп}}{60} \rightarrow \min \\ (M_{ikn}^{Гр})_l^{MцТрОп} = \frac{\sum_{z=1}^q \left( (m_l^{ТрП})_{ikn}^{MцТрОп} \right)_z}{1000} \rightarrow \max \\ \left( (K_s^G)_{ikn}^{cp} \right)_l^{MцТрОп} = \frac{(M_{ikn}^{Гр})_l^{MцТрОп}}{(N_{ikn}^{MцТрУ})_l \cdot G_{ikn}^{TC}} \rightarrow \max \\ \sum_{l=1}^t (OPEX_{ikn}^{MцТрОп})_l^{cp} \leq OPEX^{CMцТрГ} \\ \sum_{l=1}^t (T_{ikn}^{MцТрОп})_l^{cp} \leq T^{CMцТрГ} \\ (M_{ikn}^{Гр})_l^{MцТрОп} \leq G_{ikn}^{TC} \cdot (N_{ikn}^{ТрУ})_l^{MцТрОп} \\ \left( (K_s^G)_{ikn}^{cp} \right)_l^{MцТрОп} \geq \left( (K_s^G)_{ikn}^{cp} \right)_l^{min} \end{array} \right. \quad (6)$$

где  $(OPEX_{ikn}^{MцТрОп})_l^{cp}$  — средняя величина операционных затрат на выплату заработной платы производственным рабочим, задействованным в реализации  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, выполняемой с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, руб.;  $\left( (OPEX_{ам}^{MцТрОп})_{ikn}^{cp} \right)_l$  — средняя величина операционных затрат на амортизационные отчисления на транспортное средство  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, применяемого для реализации  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, руб.;  $\left( (OPEX_{рем/обсл}^{MцТрОп})_{ikn}^{cp} \right)_l$  — средняя величина операционных затрат на ремонт и обслуживание транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, приме-

няемого для реализации  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, руб.;  $(l_{ikn}^{MцТрУ})_l^{cp}$  — средняя длина межцехового транспортного участка, реализуемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, м;  $(N_{ikn}^{MцТрУ})_l$  — количество межцеховых транспортных участков, реализуемых в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, м;  $V_{ikn}^{TC}$  — скорость перемещения транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, км/час.;  $(t_{ep}^{ПРО})_{ikn}^{MцТрОп}$  — среднее время выполнения погрузочно-разгрузочной операции, реализуемой в рамках межцеховой транспортной операции с применением

транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, мин.;  $(N_{ikn}^{ПРО})^{МцТрОп}$  — количество погрузочно-разгрузочных операций, выполняемых в рамках межцеховой транспортной операции с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, шт.;  $(m_i^{ТрП})_{ikn}^{МцТрОп}$  — масса  $z$ -ой транспортной партии, перемещаемой в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, кг.;  $(M_{ikn}^{гр})_l^{МцТрОп}$  — общая масса груза, перемещаемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, реализуемой с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, кг.;  $G_{ikn}^{TC}$  — величина грузоподъемности транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, т.;  $q$  — количество транспортных партий, перемещаемых в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, реализуемой с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, шт.;  $t$  — количество межцеховых транспортных операций, выполняемых в рамках производственного подразделения, шт.

В рамках первого уровня управления определено следующее множество параметров управления (7):

$$U_1^{МцТрОп} = \left\{ \left( N_{ikn}^{МцТрУ} \right)_l, \left( m_i^{ТрП} \right)_{ikn}^{МцТрОп} \right\} \quad (7)$$

На втором уровне управления производится оптимизация параметров межцеховых транспортных маршрутов. В рамках второго уровня управления определены следующие задачи оптимизации: оптимизация величин трудоемкости и операционных затрат для соответствующих межцеховых транспортных маршрутов; оптимизация общей длины межцеховых транспортных маршрутов; оптимизация эффективности использования транспортных средств по грузоподъемности при реализации отдельных межцеховых транспортных маршрутов; оптимизации эффективности отдельных межцеховых транспортных маршрутов по времени доставки груза.

На втором уровне управления определена следующая структура векторного критерия оптимизации (8):

$$F_2^{МцТрМ}(U_2^{МцТрМ}) = \left( OPEX_l^{МцТрМ} \right)_{1..f}(U_2^{МцТрМ}), \left( T_l^{МцТрМ} \right)_{1..f}(U_2^{МцТрМ}), \left( K_{\text{эф}}^G \right)_l^{МцТрМ}(U_2^{МцТрМ}), \left( K_{\text{эф}}^t \right)_l^{МцТрМ}(U_2^{МцТрМ}), \left( L_{ikn}^{МwТрМ} \right)_{(1..l)(1..f)}(U_2^{МцТрМ}) \quad (8)$$

где  $F_2^{МцТрМ}$  — векторный критерий оптимизации для межцехового транспортного маршрута в рамках второго

уровня управления;  $U_2^{МцТрМ}$  — множества параметров управления для оптимизации межцехового транспортного маршрута;  $(OPEX_l^{МцТрМ})_{1..f}$  — величина операционных затрат, возникающих в результате реализации  $1...f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, мин.;  $(T_l^{МцТрМ})_{1..f}$  — величина трудоемкости реализации  $1...f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, мин.;  $(K_{\text{эф}}^G)_l^{МцТрМ}$  — коэффициент эффективности использования транспортного средства по грузоподъемности в процессе реализации  $1...f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции;  $(K_{\text{эф}}^t)_l^{МцТрМ}$  — коэффициент эффективности по времени доставки груза  $1...f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции;  $(L_{ikn}^{МwТрМ})_{(1..l)(1..f)}$  — длина  $1...f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $1...l$ -ой межцеховой транспортной операции, м.

Определены следующие критерии оптимизации и граничные условия реализации модели в рамках второго уровня управления:

$$\begin{aligned} \text{Критерии оптимизации: } & (OPEX_l^{МцТрМ})_{1..f} \rightarrow \min, \\ & (T_l^{МцТрМ})_{1..f} \rightarrow \min, \quad \left( (K_{\text{эф}}^G)_l^{МцТрМ} \right)_{1..f} \rightarrow \max, \\ & \left( (K_{\text{эф}}^t)_l^{МцТрМ} \right)_{1..f} \rightarrow \max, \quad (L_{ikn}^{МwТрМ})_{(1..l)(1..f)} \rightarrow \min. \end{aligned}$$

Граничные условия реализации модели (9)–(12):

$$\sum_{f=1}^f (OPEX_{ikn}^{МцТрМ})_{if} \leq OPEX^{CMцТрГ} - OPEX_{ПРО}^{CMцТрГ} \quad (9)$$

$$\sum_{f=1}^f (T_{ikn}^{МцТрМ})_{if} \leq T^{CMцТрГ} - T_{ПРО}^{CMцТрГ} \quad (10)$$

$$\left( (K_{\text{эф}}^G)_{\text{опт}}^{МцТрМ} \right)_f \geq \left( \left( (K_{\text{эф}}^G)_l^{МцТрМ} \right)_f \right)_{\min} \quad (11)$$

$$\left( (K_{\text{эф}}^t)_{\text{опт}}^{МцТрМ} \right)_f \geq \left( \left( (K_{\text{эф}}^t)_l^{МцТрМ} \right)_f \right)_{\min} \quad (12)$$

где  $OPEX_{ПРО}^{CMцТрГ}$  — величина операционных затрат, возникающих в результате выполнения погрузочно-разгрузочных операций, реализуемых в рамках межцеховой транспортной системы, ч.;  $(T_f^{МцТрМ})^{CMцТрГ}$  — величина трудоемкости выполнения  $f$ -ого межцехового транспортного маршрута, реализуемого в рамках межцеховой

транспортной системы, руб.;  $T_{\text{ППО}}^{\text{СМнТрПГ}}$  — величина трудоемкости выполнения погрузочно-разгрузочных операций, реализуемых в рамках межцеховой транспортной системы, ч.;  $\left( \left( K_{\text{эф}}^G \right)_l^{\text{МнТрМ}} \right)_f$  — минимальное значение коэффициента эффективности использования транспортного средства по грузоподъемности в процессе реализации  $f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транс-

портной операции;  $\left( \left( K_{\text{эф}}^t \right)_l^{\text{МнТрМ}} \right)_f$  — минимальное значение коэффициента эффективности доставки груза по времени при реализации  $f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, реализуемых в рамках системы межцеховой транспортной системы, шт.

Определена структура модели для оптимизации параметров межцехового транспортного маршрута (13).

$$\left\{ \begin{aligned}
 & \left( OPEX_{ikn}^{\text{МнТрМ}} \right)_{if} = \left( OPEX_{ikn}^{\text{зн}} \right)_{if}^{\text{МнТрМ}} + \left( OPEX_{ikn}^{\text{ам}} \right)_{if}^{\text{МнТрМ}} + \left( OPEX_{ikn}^{\text{рем/обсл}} \right)_{if}^{\text{МнТрМ}} \rightarrow \min \\
 & \left( T_{ikn}^{\text{МнТрМ}} \right)_{if} = \frac{\sum_{g=1}^{N_{ikn}^{\text{МнТрУ}}} \left( \left( I_{ikn}^{\text{МнТрУ}} \right)_{if} \right)_g}{60000 \cdot V_{ikn}^{\text{ТС}}} + \frac{\left( T_{\text{ППО}}^{\text{МнТрОп}} \right)_l}{60} \rightarrow \min \\
 & \left( \left( K_{\text{эф}}^G \right)_{ikn}^{\text{МнТрМ}} \right)_{if} = \frac{\sum_{g=1}^{N_{ikn}^{\text{МнТрУ}}} \left( \left( M_{ikn}^{\text{МнТрУ}} \right)_{if} \right)_g \cdot \left( \left( I_{ikn}^{\text{МнТрУ}} \right)_{if} \right)_g}{1000 \cdot G_{ikn}^{\text{ТС}} \cdot \left( L_{ikn}^{\text{МнТрМ}} \right)_{if}} \rightarrow \max \\
 & \left( \left( K_{\text{эф}}^t \right)_l^{\text{МнТрМ}} \right)_f = \sum_{z=1}^q \frac{\left( \left( t_{ikn}^{\text{мин}} \right)_l^{\text{ТрП}} \right)_z \cdot \left( \left( \beta_{ikn}^{\text{ТрП}} \right)_l^{\text{МнТрМ}} \right)_z}{\left( \left( T_{ikn}^{\text{ТрП}} \right)_{if} \right)_z} \rightarrow \max \\
 & \left( L_{ikn}^{\text{МнТрМ}} \right)_{if} = \sum_{g=1}^{N_{ikn}^{\text{МнТрУ}}} \left( \left( I_{ikn}^{\text{МнТрУ}} \right)_{if} \right)_g \rightarrow \min \\
 & \sum_{f=1}^r \left( OPEX_{ikn}^{\text{МнТрМ}} \right)_{if} \leq OPEX^{\text{СМнТрПГ}} - OPEX_{\text{ППО}}^{\text{СМнТрПГ}} \\
 & \sum_{f=1}^r \left( T_{ikn}^{\text{МнТрМ}} \right)_{if} \leq T^{\text{СМнТрПГ}} - T_{\text{ППО}}^{\text{СМнТрПГ}} \\
 & \left( \left( K_{\text{эф}}^G \right)_{\text{опт}}^{\text{МнТрМ}} \right)_f \geq \left( \left( K_{\text{эф}}^G \right)_l^{\text{МнТрМ}} \right)_f^{\min} \\
 & \left( \left( K_{\text{эф}}^t \right)_{\text{опт}}^{\text{МнТрМ}} \right)_f \geq \left( \left( K_{\text{эф}}^t \right)_l^{\text{МнТрМ}} \right)_f^{\min}
 \end{aligned} \right. \quad (13)$$

где  $\left( OPEX_{ikn}^{\text{зн}} \right)_{if}^{\text{МнТрМ}}$  — величина операционных затрат на выплату заработной платы производственным рабочим, задействованным в реализации  $f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, руб.;  $\left( OPEX_{ikn}^{\text{ам}} \right)_{if}^{\text{МнТрМ}}$  — величина операционных затрат на амортизационные отчисления на транспортное средство  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, применяемого в процессе реализации  $f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, руб.;  $\left( OPEX_{ikn}^{\text{рем/обсл}} \right)_{if}^{\text{МнТрМ}}$  — величина операционных затрат на ремонт и обслуживание транспортного

средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, применяемого в процессе реализации  $f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, руб.;  $\left( \left( I_{ikn}^{\text{МнТрУ}} \right)_{if} \right)_g$  — длина  $g$ -ого транспортного участка, реализуемого в рамках  $f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, м.;  $\left( \left( M_{ikn}^{\text{МнТрУ}} \right)_{if} \right)_g$  — общая масса груза, перемещаемого в рамках  $f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, кг.;  $G_{ikn}^{\text{ТС}}$  — грузо-

подъемность транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования,  $t; \left( T_{\text{ПРО}}^{\text{МнТрОп}} \right)_i$  — общая трудоемкость реализации погрузочно-разгрузочных операций, выполняемых в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, мин.;  $\left( t_{ikn}^{\text{min}} \right)_i^{\text{ТрП}}_z$  — минимальная величина трудоемкости перемещения  $z$ -ой транспортной партии в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, реализуемого с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, мин.;  $\left( \beta_{ikn}^{\text{ТрП}} \right)_i^{\text{МнТрМ}}_z$  — удельной вес  $z$ -ой транспортной партии в общей массе перемещаемого груза в рамках  $l$ -ого межцеховой транспортной операции, реализуемой с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования;  $\left( T_{ikn}^{\text{ТрП}} \right)_f_z$  — расчетная величина трудоемкости перемещения  $z$ -ой транспортной партии в процессе реализации  $f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ого межцеховой транспортной операции с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, мин.;

$\left( \left( I_{ikn}^{\text{МнТрУ}} \right)_{f_g} \right)_g$  — длина  $g$ -ого межцехового транспортного участка, реализуемого в рамках  $f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ого межцеховой транспортной операции с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, м;  $ОРЕХ_{\text{ПРО}}^{\text{СМнТрГ}}$  — величина операционных затрат на реализацию погрузочно-разгрузочных операций, выполняемых в рамках межцеховой транспортной системы, руб.;  $T_{\text{ПРО}}^{\text{СМнТрГ}}$  — общая трудоемкость реализации погрузочно-разгрузочных операций, выполняемых в рамках межцеховой транспортной системы, ч;  $\left( N_{ikn}^{\text{МнТрУ}} \right)_{f_g}$  — количество межцеховых транспортных участков, реализуемых в рамках  $f$ -ого межцехового транспортного маршрута, выполняемого в рамках  $l$ -ого межцеховой транспортной операции с применением транспортного средства  $i$ -ого типа  $k$ -ой группы  $n$ -ого наименования, шт.;  $q$  — количество транспортных партий, перемещаемых в рамках  $l$ -ой межцеховой транспортной операции, шт.;  $r$  — количество межцеховых транспортных участков, реализуемых в рамках межцеховой транспортной системы, шт.

В рамках второго уровня управления определено следующее множество параметров управления для оптимизации межцехового транспортного маршрута (14):

$$U_2^{\text{МнТрМ}} = \left\{ \left( \left( I_{ikn}^{\text{МнТрУ}} \right)_{f_g} \right)_g, \left( \left( M_{ikn}^{\text{МнТрУ}} \right)_{f_g} \right)_g, \left( \left( T_{ikn}^{\text{ТрП}} \right)_{f_z} \right)_z \right\} \quad (14)$$

**Оптимизация параметров межцехового транспортного маршрута**

В рамках исследование проведена оптимизация параметров межоперационного транспортного маршрута. Анализируемый транспортный маршрут содержит 6 транспортных участков, в рамках которых производится перемещение 15 партий грузов. Транспортные партии, перемещаемые в рамках исследуемого транспортного маршрута, имеют следующие массы:  $m_1 = 150$  кг;  $m_2 = 250$  кг;  $m_3 = 98$  кг;  $m_4 = 128$  кг;  $m_5 = 56$  кг;  $m_6 = 148$  кг;  $m_7 = 265$  кг;  $m_8 = 420$  кг;  $m_9 = 102$  кг;  $m_{10} = 130$  кг;  $m_{11} = 46$  кг;  $m_{12} = 75$  кг;  $m_{13} = 63$  кг;  $m_{14} = 164$  кг;  $m_{15} = 160$  кг. Таким образом, общая масса перемещаемого груза в рамках межцехового транспортного маршрута составляет 2,255 т.

В таблице 1 представлены расстояния между отдельными пунктами транспортного маршрута.

Таблица 1.

Значения расстояний между отдельными пунктами транспортного маршрута, м

	Склад	Пункт №1	Пункт №2	Пункт №3	Пункт №4	Пункт №5
Склад	0	147,3	390,8	369,7	585,3	563,8
Пункт №1	147,3	0	267,3	222,4	445,9	416,4
Пункт №2	390,8	267,3	0	183,5	220,4	266,1
Пункт №3	369,7	222,4	183,5	0	250,4	195,3
Пункт №4	585,3	445,9	220,4	250,4	0	128,8
Пункт №5	563,8	416,4	266,1	195,3	128,8	0

По результатам исследования определены пять транспортных маршрутов доступные для реализации и оптимальные по Парето:

- Транспортный маршрут №1: Склад  $\Rightarrow$  Пункт №1  $\Rightarrow$  Пункт №2  $\Rightarrow$  Пункт №3  $\Rightarrow$  Пункт №4  $\Rightarrow$  Пункт №5  $\Rightarrow$  Склад.
- Транспортный маршрут №2: Склад  $\Rightarrow$  Пункт №1  $\Rightarrow$  Пункт №2  $\Rightarrow$  Пункт №3  $\Rightarrow$  Пункт №5  $\Rightarrow$  Пункт №4  $\Rightarrow$  Склад.
- Транспортный маршрут №3: Склад  $\Rightarrow$  Пункт №2  $\Rightarrow$  Пункт №1  $\Rightarrow$  Пункт №4  $\Rightarrow$  Пункт №3  $\Rightarrow$  Пункт №5  $\Rightarrow$  Склад.
- Транспортный маршрут №4: Склад  $\Rightarrow$  Пункт №2  $\Rightarrow$  Пункт №3  $\Rightarrow$  Пункт №1  $\Rightarrow$  Пункт №4  $\Rightarrow$  Пункт №5  $\Rightarrow$  Склад.
- Транспортный маршрут №5: Склад  $\Rightarrow$  Пункт №2  $\Rightarrow$  Пункт №3  $\Rightarrow$  Пункт №1  $\Rightarrow$  Пункт №4  $\Rightarrow$  Пункт №5  $\Rightarrow$  Склад.

В рамках работы определена следующая стратегия оптимизации:

$$(T_{121}^{МпТрМ})_{11} \rightarrow \min \quad (15)$$

График зависимостей целевых показателей для данных транспортных маршрутов представлен на рисунке 1.

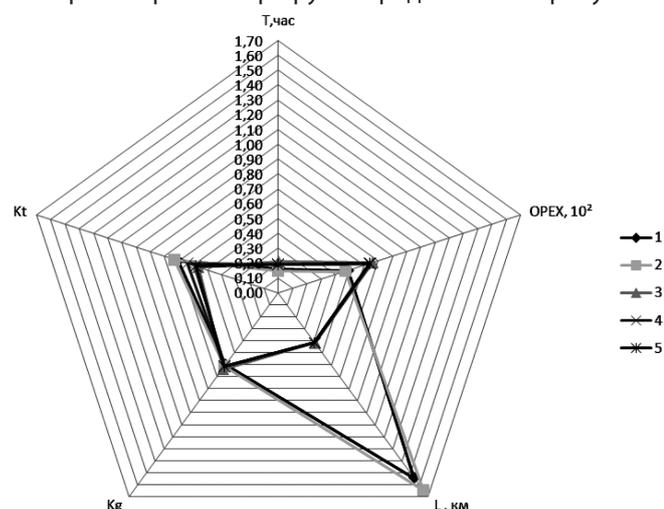


Рис. 1. График зависимостей целевых показателей для транспортных маршрутов оптимальных по Парето

## Выводы

Согласно выбранной стратегии (15), оптимальным межцеховым транспортным маршрутом является вариант №2: Транспортный маршрут №2: Склад ⇒ Пункт №1 ⇒ Пункт №2 ⇒ Пункт №3 ⇒ Пункт №5 ⇒ Пункт №4 ⇒ Склад. Для данного межцехового транспортного маршрута установлены следующие значения целевых показателей:  $(T_{121}^{МпТрМ})_{12} = 0,15$  ч.;  $(OPEX_{121}^{МпТрМ})_{12} = 47$  руб.;  $((K_{эф}^G)_{121}^{МпТрМ})_{12} = 0,61$ ;  $((K_{эф}^t)_{121}^{МпТрМ})_{12} = 0,73$ ;  $(L_{121}^{МпТрМ})_{12} = 1,64$  км.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бровкина Я.Ю., Хрусталева И.Н., Хрусталева М.Б., Хохловский В.Н., Шкодырев В.П. Иерархическая модель оптимизации технологических параметров комплекса рабочих переходов для процесса механической обработки // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2024. № 2. С. 7–20. <https://doi.org/10.24143/2072-9502—2024-2-7-20>. EDN YWJDNM.,
- Kostenko D., Arseniev D., Shkodyrev V., Onufriev V. Pareto optimization in oil refinery // Data Mining and Big Data. Communications in Computer and Information Science. 2020. P. 26–33
- Lanqing Liu, Research on the Management System of enterprises using Modern Logistics Supply Chain Theory, Procedia Engineering, Volume 24, 2011, Pages 721–725, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2725>
- Manuel Woschank, Daniel Steinwiedder, Alexander Kaiblinger, Philipp Miklautsch, Corina Pacher, Helmut Zsifkovits, The Integration of Smart Systems in the Context of Industrial Logistics in Manufacturing Enterprises, Procedia Computer Science, Volume 200, 2022, Pages 727–737, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.271>.
- Xue Yang, Langxuan Pan, Aifeng Song, Xiangqian Ma, Juan Yang, Research on the strategy of knowledge sharing among logistics enterprises under the goal of digital transformation, Heliyon, Volume 9, Issue 4, 2023, e15191, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15191>.
- Yi Xiao, Kevin X. Li, Guanqiu Qi, Mengjie Jin, Game relations between platform enterprises and participants of digital interaction-sharing platforms in the maritime logistics industry, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 178, 2023, 103292, ISSN 1366-5545, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103292>.
- Ksenia Maiorova, Development of industrial products of industrial and logistics enterprises, Transportation Research Procedia, Volume 63, 2022, Pages 2030–2038, ISSN 2352-1465, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.226>.
- Pavel Mishkurov, Oleg Fridrikhson, Vadim Lukyanov, Sergey Kornilov, Vasily Say, Simulated Transport and Logistics Model of a Mining Enterprise, Transportation Research Procedia, Volume 54, 2021, Pages 411–418, ISSN 2352-1465, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.090>.
- S. Liu, S. Hennequin, D. Roy, Enterprise Platform of Logistics Services Based on a Multi-Agents Mechanism and Blockchains, IFAC-PapersOnLine, Volume 54, Issue 1, 2021, Pages 825–830, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.097>.
- Pavel Mishkurov, Oleg Fridrikhson, Vadim Lukyanov, Sergey Kornilov, Vasily Say, Simulated Transport and Logistics Model of a Mining Enterprise, Transportation Research Procedia, Volume 54, 2021, Pages 411–418, ISSN 2352-1465, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.090>.
- Musavarah Sarwar, Muhammad Akram, Wajeeha Gulzar, Muhammet Devci, Group decision making method for third-party logistics management: An interval rough cloud optimization model, Journal of Industrial Information Integration, Volume 41, 2024, 100658, ISSN 2452-414X, <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100658>.
- Max Wuennenberg, Benjamin Wegerich, Johannes Fottner, Towards Data Management and Data Science for Internal Logistics Systems using Process Mining and Discrete-Event Simulation, Procedia CIRP, Volume 120, 2023, Pages 852–857, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.087>.
- Yanghua Pan, Ray Y. Zhong, Ting Qu, Liqiang Ding, Jun Zhang, Multi-level digital twin-driven kitting-synchronized optimization for production logistics system, International Journal of Production Economics, Volume 271, 2024, 109176, ISSN 0925-5273, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109176>.
- N. Prinzezis, C.T. Kiranoudis, An internet-based logistics management system for enterprise chains, Journal of Food Engineering, Volume 70, Issue 3, 2005, Pages 373–381, ISSN 0260-8774, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.01.040>.

15. Ali Allahverdi, A survey of scheduling problems with no-wait in process, *European Journal of Operational Research*, Volume 255, Issue 3, 2016, Pages 665–686, ISSN 0377-2217, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.05.036>.
16. Sajede Aminzadegan, Mohammad Tamannaeei, Majid Fazeli, An integrated production and transportation scheduling problem with order acceptance and resource allocation decisions, *Applied Soft Computing*, Volume 112, 2021, 107770, ISSN 1568–4946, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107770>.
17. Ali Gharaei, Fariborz Jolai, A multi-agent approach to the integrated production scheduling and distribution problem in multi-factory supply chain, *Applied Soft Computing*, Volume 65, 2018, Pages 577–589, ISSN 1568-4946, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.02.002>.
18. Bard, Jonathan & Nananukul, Narameth. (2010). A branch-and-price algorithm for an integrated production and inventory routing problem. *Computers & Operations Research*. 37. 2202–2217. 10.1016/j.cor.2010.03.010.

---

© Хрусталева Ирина Николаевна (irina.khrustaleva@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# БЕЗОПАСНОСТЬ В ЭПОХУ ЦИФРОВИЗАЦИИ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ЗАЩИТЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ СЕССИЙ

## SECURITY IN THE DIGITAL AGE: MODERN APPROACHES TO USER SESSION PROTECTION

A. Chmelev

*Summary.* The article explores modern methods of ensuring the security of user sessions in the digital environment. The increasing number of cyberattacks and data protection requirements highlight the importance of reliable user information protection, making this task crucial for web application and service developers. The main approaches to authentication, including OAuth 2.0, OpenID Connect, and JWT, are described, with an analysis of their impact on data protection and threat resilience. The article also examines caching algorithms that contribute to performance optimization and session protection. Particular attention is paid to modern challenges in data protection, including phishing attacks, «man-in-the-middle» attacks, and session replay, as well as innovative solutions such as multi-factor authentication and the implementation of artificial intelligence methods. The presented approaches emphasize the need for integrating comprehensive methods to enhance user data security and strengthen trust in digital services.

*Keywords:* session security, authentication, OAuth, caching, data protection, web applications..

**Чмелев Андрей Александрович**

Старший инженер-разработчик полного цикла,  
Технический лидер, Специалист в области  
прикладной математики и информатики, математик,  
системный программист, ООО «Вайлдберриз»  
an.chmelev@gmail.com

*Аннотация.* В статье исследуются современные методы обеспечения безопасности пользовательских сессий в условиях цифровой среды. Возрастающее количество кибератак и требования к защите данных повышают значимость надежной защиты пользовательской информации, делая эту задачу ключевой для разработчиков веб-приложений и сервисов. Описаны основные подходы к аутентификации, включая OAuth 2.0, OpenID Connect и JWT, с анализом их влияния на защиту данных и устойчивость к угрозам. В статье также рассмотрены алгоритмы кеширования, способствующие оптимизации производительности и защите сессий. Особое внимание уделено современным вызовам в области защиты данных, включая атаки фишинга, атаки «человек посередине» и воспроизведение сессий, а также инновационным решениям, таким как мультифакторная аутентификация и внедрение методов искусственного интеллекта. Представленные подходы подчеркивают необходимость интеграции комплексных методов для повышения безопасности пользовательских данных и укрепления доверия к цифровым сервисам.

*Ключевые слова:* безопасность сессий, аутентификация, OAuth, кеширование, защита данных, веб-приложения.

## Введение

Цифровые технологии и широкое использование онлайн-сервисов существенно изменили способы обработки и передачи данных, создавая значительные вызовы для информационной безопасности. С ростом объемов передаваемой информации и увеличением числа кибератак [6] особенно уязвимыми стали пользовательские сессии, в которых часто содержатся конфиденциальные данные и доступ к важным функциям, включая финансовые транзакции. Поскольку сессии обеспечивают прямой доступ к учетным записям, персональным данным и другим ценным ресурсам, они становятся одной из основных целей злоумышленников.

Число атак с каждым годом постоянно увеличивается, и этот рост подтверждается данными ведущих аналитических компаний, таких как Symantec [7], Check Point [8], Gartner [9] и Statista [10]. На рисунке 1 наглядно представлена тенденция к увеличению количества кибератак за последние годы.

Атаки на пользовательские сессии, такие как захват сессий (session hijacking), фишинг, атаки «человек посере-

дине» (MITM) и воспроизведение сессий (session replay), демонстрируют недостаточность традиционных мер безопасности, применяемых ранее в веб-приложениях.

В условиях быстрого развития распределенных систем и облачных технологий задачи защиты данных приобретают всё большую сложность. Многие современные решения включают сторонние сервисы и обрабатывают пользовательские данные в различных инфраструктурах, что увеличивает площадь возможных атак. Поэтому для защиты пользовательских сессий в настоящее время требуется применение комплексных подходов, включающих безопасные методы аутентификации, управление токенами доступа и контроль кеширования данных. Эти меры минимизируют риск несанкционированного доступа и защищают конфиденциальную информацию пользователей.

Надежная защита пользовательских сессий становится необходимой не только с точки зрения соблюдения нормативных требований, но и для уменьшения деловых рисков. Утечки данных, вызванные уязвимостями в сессиях, могут привести к значительным финансовым



Рис. 1. Число кибератак по годам, данные Symantec, Check Point, Gartner, Statista  
 Распределение различных типов кибератак на сессии за 2024 год

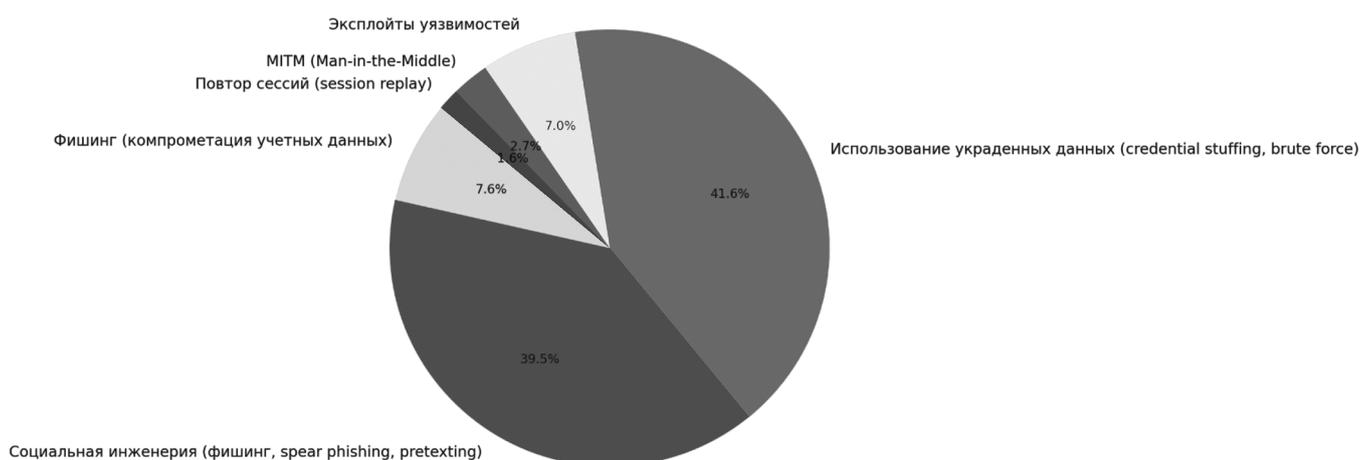


Рис. 2. Распределение различных типов кибератак на сессии за 2024 год, данные Verizon DBIR [11]

и репутационным потерям для организаций. Успешные атаки на сессии пользователей нарушают нормы, такие как GDPR и CCPA, и снижают доверие клиентов, что, в свою очередь, может привести к снижению доходов и оттоку пользователей. Укрепление доверия к цифровым сервисам через надежную защиту пользовательских сессий является стратегическим преимуществом в условиях насыщенного рынка.

В современной практике безопасности угрозы, такие как атаки «человек посередине» (MITM) [5], фишинг [4] и перехват сессий, требуют внедрения более продвинутых методов защиты. График ниже иллюстрирует распределение различных типов кибератак на пользовательские сессии в 2024 году, с данными из отчета

Verizon Data Breach Investigations Report (DBIR) [11], и позволяет оценить степень распространенности каждого вида угроз.

Использование мультифакторной аутентификации, временных токенов, криптографически защищенных соединений и контроля действий в сессии позволяет значительно снизить вероятность успешных атак. Комплексная защита пользовательских сессий таким образом становится обязательным условием для обеспечения долгосрочной безопасности данных в цифровую эпоху.

Цель данной статьи — изучить современные методы защиты пользовательских сессий, делая акцент на их эф-

фективности в противодействии актуальным угрозам. В статье будут рассмотрены новейшие методы аутентификации, такие как OAuth 2.0, OpenID Connect и JWT, а также алгоритмы кеширования, которые оптимизируют производительность приложений и повышают устойчивость к атакам.

### Материалы и методы

В ходе исследования были изучены современные протоколы аутентификации и авторизации, включая OAuth 2.0, OpenID Connect и JWT [1–4], а также методы кеширования данных [9]. Были проанализированы публикации ведущих экспертов в области информационной безопасности [5–8, 10–14] и отчеты аналитических компаний [15–19, 22]. Особое внимание уделено выявлению основных типов атак на пользовательские сессии и оценке эффективности различных методов их предотвращения.

Методы исследования включали:

- Анализ литературы: Изучение научных статей, технических отчетов и стандартов для определения текущего состояния в области защиты пользовательских сессий.
- Сравнительный анализ: Оценка преимуществ и недостатков различных методов аутентификации и кеширования.
- Моделирование угроз: Рассмотрение сценариев возможных атак на пользовательские сессии и анализ потенциальных последствий.
- Обзор практических решений: Исследование существующих практик и технологий, применяемых в индустрии для усиления безопасности сессий.

### Литературный обзор

В ходе исследования были изучены современные протоколы аутентификации и авторизации, включая OAuth 2.0, OpenID Connect и JWT [1–4], а также методы кеширования данных [9]. Были проанализированы публикации ведущих экспертов в области информационной безопасности [5–8, 10–14] и отчеты аналитических компаний [15–19, 22]. Особое внимание уделено выявлению основных типов атак на пользовательские сессии и оценке эффективности различных методов их предотвращения.

Традиционные методы аутентификации, такие как использование паролей, все чаще становятся недостаточно эффективными перед лицом современных угроз. Современные методы, включая многофакторную аутентификацию и биометрические подходы, предлагают более высокий уровень защиты. Протоколы OAuth 2.0 и OpenID Connect стали стандартом для безопасной авторизации и аутентификации в веб-приложениях [1–3].

Алгоритмы кеширования, такие как LRU, LFU и TTL, играют важную роль в оптимизации производительности систем и защите сессий [9]. Правильное управление кешем позволяет не только ускорить доступ к данным, но и повысить безопасность, предотвращая использование устаревших или скомпрометированных токенов [4, 9].

### Современные методы аутентификации

В условиях стремительного роста кибератак и увеличения количества онлайн-сервисов, обеспечение безопасности пользовательских данных стало критически важной задачей. Традиционные методы аутентификации, такие как пароли, уже не могут гарантировать должный уровень защиты от современных угроз. Поэтому разработчики и специалисты по безопасности все чаще обращаются к современным методам аутентификации, которые обеспечивают более высокий уровень защиты и удобства для пользователей [1–4].

В таблице 1 представлены основные современные методы аутентификации с кратким описанием и областями применения.

При выборе метода аутентификации важно тщательно взвесить преимущества и недостатки каждого из них в контексте конкретного приложения или системы. Комбинация нескольких методов часто позволяет достичь оптимального баланса между безопасностью и удобством использования.

### Алгоритмы кеширования и их роль в оптимизации и защите данных

С увеличением объемов данных и частоты запросов кеширование становится критически важным элементом оптимизации производительности веб-приложений [9]. Помимо ускорения обработки данных, кеширование также служит мощным инструментом для защиты пользовательских сессий и предотвращения атак [7]. Правильное использование алгоритмов кеширования позволяет снизить нагрузку на серверы, ускорить доступ к данным и усилить безопасность системы.

*Что такое кеширование?* Кеширование — это процесс временного хранения копий данных в оперативной памяти или другом быстром хранилище для ускорения доступа при повторных запросах. Вместо обращения к медленной базе данных или удаленному серверу приложение может извлекать данные из кеша, что существенно сокращает время отклика и снижает нагрузку на систему.

Для обеспечения безопасности важно правильно настраивать кеширование, особенно в отношении дан-

Современные методы аутентификации и их применение

Метод аутентификации	Преимущества	Недостатки
OAuth	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Безопасное делегирование доступа: Позволяет предоставлять доступ к ресурсам без раскрытия пароля.</li> <li>— Гибкость и масштабируемость: Поддерживает различные типы грантов для разных сценариев.</li> <li>— Контроль доступа: Возможность отзыва токенов при обнаружении угроз [1].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Сложность конфигурации: Некорректная настройка может привести к уязвимостям.</li> <li>— Уязвимость токенов: Без защищенного соединения токены могут быть перехвачены.</li> <li>— Сложность интеграции: Требуется значительных усилий при внедрении.</li> </ul>
OpenID Connect	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Дополнительный уровень защиты: Добавляет аутентификацию к авторизации.</li> <li>— Единый вход (SSO): Улучшает удобство и безопасность.</li> <li>— Широкая поддержка: Интеграция с крупными провайдерами [2].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Зависимость от сторонних сервисов: Безопасность зависит от провайдера.</li> <li>— Ограничения политики: Возможны ограничения в доступе к данным пользователей.</li> <li>— Риски утечек: Требуется усиленных мер безопасности при интеграции.</li> </ul>
JWT (JSON Web Tokens)	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Легкость и скорость: Компактный формат ускоряет аутентификацию.</li> <li>— Защита данных: Криптографическая подпись обеспечивает подлинность.</li> <li>— Без государственности: Не требует хранения сессий на сервере [4].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Отсутствие отзыва токена: Токен действителен до истечения срока.</li> <li>— Актуальность данных: Возможна устаревшая информация в токене.</li> <li>— Уязвимость к атакам: Перехват токенов при небезопасных соединениях или XSS-атаках.</li> </ul>
Многофакторная аутентификация	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Повышенная безопасность: Требуется несколько факторов для доступа.</li> <li>— Защита от различных атак: Снижает риск при компрометации одного из факторов [10].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Усложнение процесса входа: Может быть неудобно для пользователей.</li> <li>— Дополнительные затраты: Требуется внедрения и поддержки дополнительных технологий.</li> </ul>
Биометрическая аутентификация	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Удобство использования: Быстрый вход без паролей.</li> <li>— Высокий уровень безопасности: Трудно подделать биометрические данные [11].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Проблемы конфиденциальности: Риск утечки биометрических данных.</li> <li>— Технические ограничения: Возможны ошибки в распознавании.</li> </ul>
Аппаратные ключи (FIDO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Максимальная защита: Высокая устойчивость к фишингу и атакам.</li> <li>— Простота использования: Быстрый процесс аутентификации [23].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Необходимость физического устройства: Требуется наличие ключа.</li> <li>— Стоимость: Дополнительные расходы на приобретение устройств.</li> </ul>
Одноразовые пароли (OTP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Повышенная безопасность: Краткосрочные пароли снижают риск.</li> <li>— Простота внедрения: Легко интегрируется в существующие системы [12].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Зависимость от доставки: Возможны задержки или перехват SMS.</li> <li>— Уязвимость к фишингу: Пользователи могут вводить OTP на поддельных сайтах.</li> </ul>
Поведенческая аутентификация	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Непрерывная проверка: Постоянная верификация пользователя.</li> <li>— Незаметность для пользователя: Не требует дополнительных действий [11].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Чувствительность к изменениям: Поведение может меняться.</li> <li>— Проблемы точности: Возможны ложные срабатывания и ошибки в распознавании.</li> </ul>
Геолокация и анализ окружения	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Адаптивная безопасность: Дополнительная проверка при подозрительной активности.</li> <li>— Улучшенный опыт пользователя: Снижает число проверок при низком риске [13].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Проблемы конфиденциальности: Сбор личных данных о местоположении.</li> <li>— Точность данных: Возможны ошибки в определении геолокации или ее подделка.</li> </ul>

ных пользовательских сессий. Неправильные настройки могут привести к утечке чувствительной информации, такой как токены доступа или идентификационные данные [7]. Поэтому внедрение алгоритмов кэширования

должно учитывать не только производительность, но и требования к защите данных.

Алгоритмы кэширования играют важную роль не только в ускорении работы систем, но и в защите дан-

ных пользователей. Каждый алгоритм имеет свои особенности и применяется в зависимости от специфики задач. Рассмотрим некоторые из них:

- **LRU (Least Recently Used)** удаляет из кеша наименее недавно использованные данные, позволяя системе хранить только актуальные сведения. Этот метод способствует защите сессий, автоматически очищая кэш от неактивных данных, что уменьшает вероятность их использования злоумышленниками.
- **LFU (Least Frequently Used)** сохраняет данные, к которым наиболее часто происходит обращение. Это позволяет не только оптимизировать отклик системы, но и удалять редко используемые сессии, минимизируя риск их компрометации.
- **FIFO (First In, First Out)** удаляет самые старые данные, независимо от частоты их использования. Этот алгоритм подходит для ситуаций, когда данные быстро устаревают, а новые записи являются более актуальными.
- **ARC (Adaptive Replacement Cache)** объединяет свойства LRU и LFU, адаптируясь к изменяющимся требованиям. Это позволяет динамично управлять кешем и обеспечивать защиту актуальных данных.
- **Random Replacement** удаляет данные случайным образом. Несмотря на простоту, данный метод может ограниченно применяться для защиты сессий,

так как случайное удаление может затронуть полезные данные.

- **TTL (Time-To-Live)** устанавливает срок хранения данных, по истечении которого они автоматически удаляются. Это особенно важно для временных токенов, таких как JWT, которые поддерживают безопасность сессий в течение заданного времени.
- **Фрагментация кэша** позволяет разделять кеш на сегменты, изолируя данные в разных блоках. Такой подход часто применяется в финансовых приложениях, где конфиденциальные данные хранятся отдельно от сессионных, что уменьшает риск утечки.
- **Шифрование кэша** защищает данные, сохраняя их в зашифрованном виде. Этот метод обеспечивает высокий уровень безопасности, так как данные остаются не доступными без ключа.
- **Хеширование** преобразует данные в нечитаемый вид, защищая токены и пароли, что делает их недоступными для злоумышленников даже при утечке кэша.

Эти алгоритмы помогают не только улучшить производительность, но и усилить безопасность данных [9]. Дополнительную информацию об их роли в защите сессий и примерах применения можно найти в таблице 2.

Таблица 2.

Основные алгоритмы кэширования, их роль в защите данных и примеры применения

Алгоритм	Роль в защите сессий	Пример применения
LRU	Автоматическое удаление неактивных сессий снижает риск использования устаревших данных.	Банковский сектор — кэширование активных сессий для защиты учетных данных пользователей [9].
LFU	Сохраняет часто используемые данные, удаляя редко используемые для повышения безопасности.	Электронная коммерция — кэширование популярных товаров и пользовательских действий [9].
FIFO	Обновляет кеш новыми данными, удаляя старые и защищая от использования устаревшей информации.	Новостные и медийные сайты — кэширование актуальных статей и контента [9].
ARC	Адаптивное управление кешем улучшает эффективность хранения и защищает актуальные данные.	Облачные сервисы и высоконагруженные базы данных — оптимизация доступа к часто запрашиваемым данным [9].
Random Replacement	Простое управление кешем для встроенных систем с ограниченными ресурсами.	Встроенные системы в IoT-устройствах — управление кешем при ограниченной памяти [9].
TTL	Автоматическое удаление данных по истечении срока снижает риски использования устаревших токенов.	Платформы онлайн-банкинга — краткосрочные токены для сессий и аутентификации [4].
Фрагментация кэша	Изолирует данные в случае компрометации одного из сегментов, защищая конфиденциальные сведения.	Финансовые приложения — разделение данных сессий и финансовых транзакций для повышения безопасности [9].
Шифрование кэша	Защищает конфиденциальные данные от утечек, усложняя несанкционированный доступ.	Системы интернет-банкинга — шифрование данных сессий для защиты конфиденциальности [7].
Хеширование	Обеспечивает защиту токенов и паролей, снижая риск компрометации при утечке данных.	Аутентификационные системы — хеширование паролей для повышения безопасности учетных записей [7].

Кэширование данных не только оптимизирует процесс аутентификации, уменьшая нагрузку на базы данных и ускоряя проверку токенов, но и значительно повышает безопасность пользовательских сессий. Основные направления использования кэширования для достижения этих целей представлены на диаграмме ниже.

**Основные типы атак на сессии и методы их предотвращения**

Сессии пользователей — один из центральных элементов веб-приложений, обеспечивающий пользователям удобный и безопасный доступ к своим учетным данным и конфиденциальной информации [7]. Однако именно этот элемент и привлекает злоумышленников, ищущих способы обойти систему защиты. Рассмотрим основные методы атак на сессии, их потенциальные последствия и защитные меры, которые помогут противостоять этим угрозам.

*Атака посредника (MITM).* Один из наиболее опасных методов — атака типа «человек посередине», или MITM. Здесь злоумышленник, как настоящий «перехватчик», встраивается в обмен данными между пользователем и сервером, что позволяет ему не только перехватывать, но и изменять эти данные. Чаще всего такие атаки случаются в общедоступных сетях Wi-Fi, где трафик пользователей проходит без должной защиты. Последствия MITM-атак могут быть катастрофическими: от утечки личных данных до полной утраты контроля над учетной записью.

Эффективная защита от MITM-атак заключается в использовании SSL/TLS для шифрования данных, что делает перехват бесполезным [5]. Регулярная проверка целостности сообщений также помогает предотвратить незаметные изменения данных.

*Кража токенов (OAuth).* Кража токенов аутентификации, таких как OAuth, представляет собой ещё одну излюбленную тактику злоумышленников. Похищенные токены позволяют получить доступ к учетной записи без пароля, что особенно опасно, когда речь идет о конфи-

денциальных данных. Перехват токенов в незащищенной сети, по сути, «развязывает руки» злоумышленнику, давая ему доступ к ресурсам пользователя.

Чтобы избежать подобных ситуаций, срок действия токенов должен быть ограничен, а их хранение — максимально защищено [1, 4]. Применение краткосрочных токенов позволяет существенно снизить риск их кражи.

*Cross-Site Scripting (XSS).* Такие атаки — типичная проблема, связанная с внедрением вредоносного кода в веб-страницу. Здесь злоумышленник использует уязвимости сайта для того, чтобы обмануть систему и получить доступ к сессионным данным пользователя. Достаточно заполнить форму с вредоносным кодом, и злоумышленник сможет «подглядеть» сессию или даже управлять действиями пользователя от его имени. Последствия XSS-атак порой бывают непредсказуемыми: утечка данных, компрометация учетных записей и, в конечном итоге, снижение доверия к сервису.

Эффективные меры защиты включают тщательную фильтрацию данных на входе и настройку cookie-файлов с флагами HttpOnly и Secure, что затрудняет доступ к сессии со стороны злоумышленника [7].

*Cross-Site Request Forgery (CSRF).* CSRF-атака использует активную сессию пользователя для выполнения действий без его ведома. Злоумышленник запускает запрос, будто бы от имени пользователя, а система принимает его как легитимный. Нередки случаи, когда с помощью CSRF злоумышленникам удается инициировать финансовые переводы или изменить важные настройки в учетной записи пользователя.

Для предотвращения подобных атак целесообразно использовать CSRF-токены, а также проверять источники входящих запросов [7]. Эти меры значительно усложняют выполнение нежелательных действий от имени пользователя.

*Несанкционированный доступ к базе данных или файловой системе.* Прямой доступ к базе данных или фай-



Рис. 3. Ключевые аспекты кэширования для ускорения аутентификации и повышения безопасности пользовательских сессий

ловой системе, где хранятся сессионные данные, предоставляет злоумышленнику все инструменты для полного контроля над учетными записями. Использование SQL-инъекций и других методов позволяет обойти защитные системы и получить доступ к данным, изменить или удалить их. Это особенно опасно, так как последствия могут затронуть многих пользователей одновременно.

Регулярное сканирование на уязвимости, ограничение доступа и применение шифрования данных помогают предотвратить несанкционированный доступ к базе данных и минимизировать риски [8].

*Фиксация сессии* — специфический метод атак, при котором злоумышленник фиксирует сессию еще до того, как пользователь проходит аутентификацию. Злоумышленник устанавливает идентификатор сессии заранее, так что, когда пользователь входит в учетную запись, он фактически подключается к сессии злоумышленника.

Противодействие таким атакам включает обновление идентификатора сессии после завершения аутентификации и настройку cookie с дополнительными параметрами безопасности [7]. Эти меры делают фиксацию сессий значительно менее эффективной.

*Атака грубой силы (Brute Force)*. Атаки методом перебора или brute force представляют собой один из самых древних методов взлома, но, несмотря на это, всё ещё применяются, особенно при слабых паролях. Злоумышленник поочередно перебирает возможные комбинации пароля, чтобы получить доступ к учетной записи. Успешная атака приводит к потере контроля над учетной записью и компрометации данных.

Простые, но эффективные меры включают ограничение количества попыток входа, использование капчи и повышение сложности паролей, что значительно усложняет работу злоумышленнику [6].

*Социальная инженерия*. Методы социальной инженерии, такие как фишинг, эксплуатируют человеческий фактор, а не технические уязвимости. Злоумышленники обманом вынуждают пользователей выдавать свои данные, создавая поддельные страницы для входа в систему или рассылая электронные письма с вредоносными ссылками. Социальная инженерия требует минимальных затрат со стороны злоумышленника, но может иметь очень серьезные последствия.

Обучение пользователей, внедрение автоматических фильтров и использование двухфакторной аутентификации помогают значительно снизить риски, связанные с социальной инженерией [10, 13].

*Физический доступ*. Физический доступ к устройству

пользователя предоставляет злоумышленнику все возможности для кражи сессионных данных, cookie и паролей. Доступ к устройству открывает «врата» ко всей информации, которая может быть сохранена на устройстве, что особенно опасно при отсутствии мер защиты.

Защитные меры включают шифрование данных, настройку автоматической блокировки и использование биометрических методов аутентификации [11]. Эти методы помогают минимизировать риски утраты данных при физическом доступе к устройству.

### Недостатки традиционных методов и необходимость их усовершенствования

В современных условиях безопасности традиционные методы аутентификации всё чаще становятся недостаточно эффективными для защиты пользовательских данных. Несмотря на свою базовую функциональность, многие из этих методов имеют уязвимости, которые активно эксплуатируются злоумышленниками. Постоянное увеличение числа кибератак показывает, что недостатки в традиционных подходах к защите данных нуждаются в пересмотре и усовершенствовании.

Для удобного представления основных проблем, связанных с традиционными методами защиты, и предлагаемых мер улучшения составлена таблица (см. табл. 3), отражающая ключевые недостатки каждого метода, возможные риски и последствия, а также соответствующие способы их модернизации.

Ниже представлен график, иллюстрирующий наиболее частые причины успешных кибератак, выявленные в исследованиях компаний Verizon, Trustwave, IBM X-Force, Symantec и Kaspersky за период с 2021 по 2023 год. График позволяет наглядно оценить, какие слабые места в защите пользовательских данных и сессий наиболее уязвимы и требуют особого внимания для минимизации рисков атак.

### Перспективные направления и инновационные решения в защите сессий

Современные информационные системы сталкиваются с постоянно растущими угрозами безопасности, особенно в области защиты сессионных данных. Новые методы и технологии предлагают гораздо больше возможностей для безопасности, чем традиционные подходы, но при этом они учитывают удобство пользователя. Рассмотрим основные инновационные решения, которые уже сейчас применяются или находятся на стадии активного внедрения, предоставляя высокий уровень защиты при сохранении доступности и удобства использования.

Таблица 3.

Недостатки традиционных методов аутентификации и их усовершенствования

Недостаток	Проблема	Риски и последствия	Необходимость усовершенствования
Слабая защита паролей	Пароли могут быть украдены, угаданы или взломаны злоумышленниками, что делает учетные записи уязвимыми.	Компрометация учетных записей при использовании простых или одинаковых паролей на разных платформах [6].	Внедрение многофакторной аутентификации (MFA) для дополнительной защиты. Поощрение создания уникальных и сложных паролей для каждого аккаунта [10].
Уязвимости в хранении сессионных данных	Некорректное хранение сессионных данных может привести к их компрометации.	Возможность перехвата данных через небезопасные соединения. Увеличение вероятности атак при недостаточной настройке cookie [7].	Использование шифрования сессионных данных. Настройка cookie-файлов с флагами HttpOnly, Secure и SameSite. Периодическое обновление идентификаторов сессий [7].
Неэффективность при атаках MITM	Стандартные меры часто недостаточно защищают от атак типа «человек посередине» (MITM).	Перехват, подмена сессионных данных, выполнение действий от имени пользователя [5].	Использование SSL/TLS для шифрования каналов связи. Применение аутентификации серверов и клиентов для подтверждения их подлинности [5].
Отсутствие контроля за истечением сессии	Недостаточный контроль за временем действия сессий делает их уязвимыми к несанкционированному доступу.	Увеличение вероятности компрометации при наличии длительно активных сессий [7].	Автоматическое завершение сессии после периода бездействия. Использование краткосрочных токенов, чтобы уменьшить вероятность использования устаревших данных [4].
Отсутствие защиты от атак воспроизведения	Уязвимость к атакам воспроизведения позволяет злоумышленникам использовать перехваченные данные повторно.	Несанкционированное выполнение операций и доступ к данным [7].	Применение токенов с временными метками или одноразовых кодов для каждого запроса. Обеспечение уникальности каждого запроса [7].

Наиболее частые причины кибератак, связанные с недостатками безопасности



Рис. 4. Наиболее частые причины успешных кибератак (2021–2023)

Многофакторная аутентификация (MFA) — это классический, но по-прежнему актуальный способ усилить защиту за счет комбинирования нескольких факторов аутентификации. В дополнение к паролю применяются одноразовые коды, биометрические данные или аппа-

ратные токены. MFA усложняет доступ для злоумышленника: компрометация одного из факторов не даст ему несанкционированного доступа к учетной записи. Однако, несмотря на надежность, MFA может снижать удобство использования, что особенно важно для систем

с массовым применением. Сегодня многие банковские системы, такие как Тинькофф и Сбербанк Онлайн, уже используют MFA с SMS-кодами и push-уведомлениями для подтверждения операций [10].

*Биометрическая аутентификация* предлагает использование уникальных характеристик пользователя, таких как отпечатки пальцев, распознавание лица и даже поведенческие паттерны. Этот метод убирает необходимость запоминания паролей, но поднимает вопросы конфиденциальности, ведь утечка биометрических данных может иметь серьезные последствия. На данный момент биометрия активно применяется в мобильных устройствах, что позволяет пользователям быстро и безопасно авторизоваться, не задумываясь о паролях [11].

*Поведенческая биометрия.* В отличие от традиционной биометрии, поведенческая биометрия анализирует такие характеристики, как скорость набора текста или движения мышью, для непрерывной аутентификации. Это обеспечивает дополнительный уровень защиты, позволяя постоянно подтверждать личность пользователя на протяжении всей сессии, что особенно актуально для финансовых организаций. Например, данная технология способна обнаруживать мошеннические действия на основе аномалий в поведении [11].

### Искусственный интеллект и машинное обучение в безопасности

Системы ИИ и машинного обучения помогают распознавать аномалии и реагировать на них в реальном времени. Они анализируют огромные объемы данных, выявляя сложные атаки, которые традиционными методами были бы незаметны. Внедрение ИИ позволяет крупным компаниям, таким как Яндекс и Сбербанк, мгновенно обнаруживать и блокировать потенциальные угрозы, однако этот метод требует значительных вычислительных ресурсов и качественных данных для обучения моделей [10].

*Архитектура «Нулевого доверия» (Zero Trust Architecture, ZTA).* Этот подход предполагает полное отсутствие доверия к любому элементу сети — каждый запрос на доступ проверяется независимо, независимо от его происхождения. Это подход, при котором безопасность встроена в каждое взаимодействие. Такой уровень контроля особенно важен в корпоративных сетях, где внутренние и внешние угрозы требуют тщательного анализа. Google и другие компании внедряют ZTA для защиты от несанкционированного перемещения внутри сети [13].

*Блокчейн для защиты данных.* Технология блокчейн делает процесс хранения данных более прозрачным и безопасным за счет децентрализованного управления

и неизменности записей. Блокчейн обеспечивает высокую устойчивость к атакам, так как данные невозможно изменить без согласия участников сети. В частности, блокчейн используется в проектах децентрализованной идентификации, таких как Sovrin и uPort, для защиты и верификации цифровых идентификационных данных [20].

*Адаптивная аутентификация и защита сессий* — это динамическое изменение уровня безопасности на основе контекста, например, местоположения, времени, устройства. Это позволяет персонализировать защиту, реагируя на необычное поведение пользователя. В системах онлайн-банкинга, например, при входе с нового устройства система может запросить дополнительную проверку, обеспечивая безопасность при минимальном неудобстве для пользователя.

*Использование аппаратных средств безопасности.* Аппаратные токены, такие как YubiKey, и смарт-карты хранят ключи шифрования в изолированной среде, защищая данные от фишинга и MITM-атак. Эти устройства требуют дополнительных затрат и неудобны в использовании, но дают значительное преимущество в защите конфиденциальных данных, что делает их востребованными в корпоративных системах и сервисах двухфакторной аутентификации [13].

*Квантово-устойчивая криптография.* В условиях угрозы со стороны квантовых компьютеров, способных взламывать современные криптографические системы, актуальным становится использование квантово-устойчивых алгоритмов. Этот подход пока находится на стадии стандартизации, но его внедрение позволит повысить устойчивость системы к потенциальным угрозам. Сегодня многие исследовательские проекты, включая инициативу NIST, работают над разработкой и стандартизацией таких алгоритмов [24].

*Современные протоколы безопасности и стандарты,* такие как OAuth 2.0, OpenID Connect и FIDO2, обеспечивают безопасную аутентификацию и авторизацию, упрощая интеграцию между сервисами. Эти стандарты поддерживают мобильные устройства и веб-приложения, создавая унифицированный подход к защите данных и улучшая совместимость. Применение таких протоколов позволяет упростить защиту данных для пользователей и снизить риски, связанные с неправильной конфигурацией системы [1-4, 23].

### Обсуждение

Современные методы аутентификации предоставляют широкие возможности для усиления безопасности пользовательских сессий. Протоколы OAuth 2.0 и OpenID Connect обеспечивают безопасное управление

доступом к ресурсам без необходимости передачи паролей [1-3]. Использование JWT-токенов позволяет реализовать безгосударственную аутентификацию, снижая нагрузку на серверы. Однако каждый из этих методов имеет свои недостатки и потенциальные риски. Например, неправильная конфигурация OAuth может привести к компрометации токенов [6], а JWT-токены, действительные до истечения срока, не подлежат отзыву, что может быть уязвимостью при утечке токена.

Это подчеркивает важность комбинирования различных методов аутентификации и внедрения дополнительных мер безопасности, таких как многофакторная аутентификация. Алгоритмы кеширования улучшают производительность систем и ускоряют обработку пользовательских запросов [9]. Однако некорректное управление кешем может привести к утечкам данных или использованию устаревших сессий, поэтому необходимо тщательно выбирать алгоритмы и настраивать параметры хранения.

Инновационные решения, включая применение искусственного интеллекта и машинного обучения для обнаружения аномалий, а также архитектуру «нулевого доверия», представляют перспективные направления в усилении безопасности. Технологии блокчейна и квантово-устойчивая криптография могут стать основой для создания новых систем защиты данных, способных противостоять будущим угрозам [21].

### Заключение

Проведенный анализ современных методов обеспечения безопасности пользовательских сессий показал, что ключевые протоколы аутентификации, такие как OAuth 2.0, OpenID Connect и JWT, являются эффективными инструментами для защиты данных пользователей

и предотвращения несанкционированного доступа. Тем не менее, традиционные методы защиты часто недостаточны перед лицом современных киберугроз, включая фишинг, атаки «человек посередине» (MITM), перехват сессий и атаки воспроизведения.

Для повышения устойчивости к этим угрозам необходимо внедрение более комплексных решений, таких как многофакторная аутентификация, поведенческая биометрия и использование искусственного интеллекта для своевременного обнаружения и блокировки атак [10, 11]. Интеграция инновационных технологий, включая блокчейн, квантовую криптографию и адаптивную аутентификацию [20, 24, 13], может значительно усилить защиту пользовательских сессий в будущем.

Для эффективной защиты данных организациям рекомендуется не только инвестировать в передовые технологии, но и повышать осведомленность и квалификацию сотрудников в области кибербезопасности. Комплексный подход, включающий адаптивную аутентификацию, применение искусственного интеллекта и постоянное обучение персонала, способен не только повысить уровень безопасности, но и укрепить доверие клиентов [10, 12]. Это также способствует соблюдению нормативных требований и обеспечивает конкурентное преимущество в условиях цифровой трансформации [14].

В долгосрочной перспективе безопасность пользовательских данных требует многоуровневых стратегий защиты сессий, объединяющих различные методы аутентификации, эффективные алгоритмы кеширования и инновационные технологии. Такой подход позволит организациям противостоять текущим и будущим угрозам, обеспечивая надежную защиту и соответствуя ожиданиям пользователей в сфере кибербезопасности.

### ЛИТЕРАТУРА

- Hildebrand, D., & Ylonen, T. (2005). OAuth 2.0 Authorization Framework. IETF RFC 6749. Доступно по ссылке: <https://tools.ietf.org/html/rfc6749>
- Hardt, D. (2014). The OAuth 2.0 Authorization Framework: Bearer Token Usage. IETF RFC 6750. Доступно по ссылке: <https://tools.ietf.org/html/rfc6750>
- OpenID Foundation. (2014). OpenID Connect Core 1.0. Доступно по ссылке: <https://openid.net/connect/>
- JWT.io. (2019). JWT: JSON Web Tokens. Доступно по ссылке: <https://jwt.io/introduction/>
- Guttman, J., & McDowell, P. (2003). Man-in-the-Middle (MITM) Attacks: Detection and Mitigation. IEEE Security & Privacy.
- Dumitru, R., & Pana, M. (2017). Security Risks in Session Management and Their Mitigation. Journal of Computer Security, 25(1), 1–22.
- Mitnick, K.D., & Simon, W. L. (2002). The Art of Deception: Controlling the Human Element of Security. Wiley.
- Anderson, R. (2020). Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems. Wiley.
- Zhou, J., & Le, H. (2018). A Survey on Caching Algorithms for Web Applications: Challenges and Future Directions. International Journal of Computer Science and Information Security, 16(6), 1–12.
- Kaufman, C. (2017). Machine Learning for Cybersecurity: How AI Will Help Prevent the Next Generation of Cyber Attacks. MIT Press.
- National Institute of Standards and Technology (NIST). (2017). NIST SP 800-63-3: Digital Identity Guidelines. Доступно по ссылке: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-63-3.pdf>
- Schneier, B. (2015). Data and Goliath: The Hidden Battles to Collect Your Data and Control Your World. W.W. Norton & Company.
- Gartner. (2023). Predicts 2024: Cybersecurity Trends. Доступно по ссылке: <https://www.gartner.com/en/documents/predicts-2024-cybersecurity-trends>
- Tanner, M., & Hayes, D. (2019). The Impact of Blockchain Technology on Identity Management. Journal of Cryptographic Engineering, 9(4), 234–247.

15. Verizon. (2023). Data Breach Investigations Report (DBIR) 2023. Доступно по ссылке: <https://www.verizon.com/business/resources/reports/dbir/>
16. Statista. (2023). Number of Cyber Attacks Worldwide from 2020 to 2024. Доступно по ссылке: <https://www.statista.com/statistics/cyber-attacks-worldwide>
17. Symantec. (2021). Symantec Internet Security Threat Report 2021. Доступно по ссылке: <https://knowledge.broadcom.com/external/article?legacyId=tech248545>
18. Check Point Software Technologies. (2021). Cyber Security Report 2021. Доступно по ссылке: <https://pages.checkpoint.com/cyber-security-report-2021.html>
19. Kaspersky Lab. (2022). Kaspersky Security Bulletin 2022. Доступно по ссылке: <https://securelist.com/it-threat-evolution-in-q2-2022/107047/>
20. Fried, S., & Kress, A. (2020). Quantum Cryptography and Its Role in Data Security: A Detailed Survey. *Cryptography and Security*, 7(1), 45–58.
21. National Institute of Standards and Technology (NIST). (2020). Post-Quantum Cryptography Standardization. Доступно по ссылке: <https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography>
22. Trustwave. (2021). 2021 Trustwave Global Security Report. Доступно по ссылке: <https://www.trustwave.com/en-us/resources/library/documents/2021-trustwave-global-security-report/>
23. FIDO Alliance. (2019). FIDO2: Moving the World Beyond Passwords. Доступно по ссылке: <https://fidoalliance.org/fido2/>
24. IBM Security. (2022). IBM X-Force Threat Intelligence Index 2022. Доступно по ссылке: <https://www.ibm.com/security/data-breach/threat-intelligence>

---

© Чмелев Андрей Александрович (an.chmelev@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СТРАТЕГИЯ ПРОФИЛАКТИКИ СТЕРНАЛЬНЫХ РАНЕВЫХ ИНФЕКЦИЙ ПРИ ДВУСТОРОННЕМ ШУНТИРОВАНИИ ВНУТРЕННИХ ГРУДНЫХ АРТЕРИЙ

## STRATEGY FOR THE PREVENTION OF STERNAL WOUND INFECTIONS AFTER BILATERAL INTERNAL

**V. Bazylev  
D. Shutov  
S. Medovshchikova  
A. Astashkin  
V. Karnakhin**

**Summary. Objective.** To analyze the incidence of sternotomy wound infections after bimanary bypass surgery, identify potential predictors and find the most effective method of intraoperative topical application of vancomycin. **Materials and methods:** this prospective study included 7061 patients operated at the Federal State Budgetary Institution «FCSSH» of the Ministry of Health of Russia (Penza). The patients were divided into two groups. In the first group, there were 3,953 patients who either did not use vancomycin topically during surgery, or were used routinely. The second group included 2,775 patients in whom vancomycin was topically used only in the presence of risk factors. **Results:** the analysis of independent risk factors revealed three statistically significant predictors: age, BMI and the use of vancomycin according to indications. With an increase in the patient's age by 1 year, the chance of developing SSI increases by 4 %. With an increase in the BMI value by 1 unit, the chance of developing SSI increases by 6 %. The use of vancomycin according to indications reduces the chance of developing SSI by 26 %. **Conclusions:** when performing bilateral internal mammary artery grafting, topical use of vancomycin in patients with risk factors for SSI reduces the chance of development by 26 %.

**Keywords:** bimanary bypass surgery, sternal infection, vancomycin.

**Базылев Владлен Владленович**

д.м.н. главный врач, ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава РФ  
cardio-penza@yandex.ru

**Шутов Дмитрий Борисович**

заместитель главного врача по медицинской части, ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава РФ  
shdb20@yandex.ru

**Медовщикова Светлана Евгеньевна**

врач-эпидемиолог, ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава РФ  
svfedoseeva@yandex.ru

**Асташкин Андрей Федорович**

начальник организационно-методического отдела врач-статистик, ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава РФ  
zavorgmetod@cardio-penza.ru

**Карнахин Вадим Александрович**

врач сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения №2, ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава РФ  
vkhin@mail.ru

**Аннотация.** Цель: проанализировать заболеваемость стернотомными раневыми инфекциями после бимаммарного шунтирования, выявить потенциальные предикторы и найти наиболее эффективный метод интраоперационного применения ванкомицина. **Материалы и методы:** в данное проспективное исследование включены 7061 пациентов, прооперированных в ФГБУ «ФЦССХ» Минздрава России (г. Пенза). Больные были разделены на две группы. В первую группу вошли 3953 пациента у которых во время операции либо не применялся топически ванкомицин, либо использовался у всех без исключения. Вторая группа включила 2775 пациентов, у которых ванкомицин местно применялся только при наличии факторов риска. **Результаты:** анализ независимых факторов риска выявил три статистически значимых предиктора: возраст, ожирение и использование ванкомицина по показаниям. При увеличении возраста пациента на 1 год шанс развития раневой инфекции возрастает на 4 %. При увеличении значения ИМТ на 1 единицу шанс развития раневой инфекции возрастает на 6 %. Использование ванкомицина по показаниям уменьшает шанс развития раневой инфекции на 26 %. **Выводы:** При проведении бимаммарного шунтирования топическое использование ванкомицина у пациентов с факторами риска возникновения раневой инфекции уменьшает шанс развития на 26 %.

**Ключевые слова:** бимаммарное шунтирование, стерральная инфекция, ванкомицин.

## Введение

**Б**имаммарное коронарное шунтирование (КШ) с использованием двух внутренних грудных артерий (ВГА) может улучшить долгосрочные результаты у пациентов, перенесших хирургическую реваскуляризацию миокарда [1–3]. Известно, что использование правой и левой ВГА дает существенные преимущества в отдаленной выживаемости по сравнению с аутовенами и лучевыми артериями, используемыми в качестве кондуитов. Несмотря на эти преимущества, использование бимаммарного шунтирования по-прежнему недостаточно практикуется в различных странах [4]. Так, в общенациональном исследовании в США сообщалось, что частота применения двух ВГА составляет 3,9 %, в Швеции 1 %, а в Великобритании и Ирландии 10 %. В России так же не велико использование двух внутренних грудных артерий при КШ и в 2018 году составило около 11,5 % [5–9]. Одной из проблем, связанных с применением двух ВГА, которая, возможно, способствует ее недостаточному использованию, является повышенный риск стерильных раневых инфекций по сравнению с традиционным шунтированием одной ВГА [2,10,11]. Считается, что чрезмерная деваскуляризация передней грудной стенки, присущая бимаммарному шунтированию, может способствовать осложнениям заживления ран, включая глубокую инфекцию в области хирургического вмешательства (ГИОХВ) [12–13].

ГИОХВ является серьезным осложнением, которое приводит к длительной госпитализации, увеличению стоимости лечения и значительной смертности. Понимая, что использование внутренней грудной артерии нарушает кровоснабжение грудины, хирурги находятся в поиске наиболее оптимальных мер профилактики раневых стерильных инфекций. Но и сейчас, несмотря на достижения в области противомикробной терапии и улучшения в практике инфекционного контроля, проблема профилактики инфекций в области хирургического вмешательства (ИОХВ) стоит по-прежнему остро. Кардиохирурги с командой специалистов по инфекционному контролю ищут способы решения в различных направлениях, что периодически приводит их к определенным успехам — рекомендовано много новых способов профилактики ИОХВ [14–17].

В октябре 1989 г. Tomas J. Vander Salm опубликовал свое проспективное исследование, в котором описал метод профилактики раневой инфекции грудины путем добавления порошка ванкомицина в кровоостанавливающую пасту (14). В тоже время, существуют исследования, которые показывают, что в условиях регулярного профилактического интраоперационного применения порошка ванкомицина, имеются потенциальные риски появления раневых инфекций, вызванных грамотрицательными, полимикробными, а также резистентными штаммами микроорганизмов [17–21].

На сегодняшний день использование порошка ванкомицина для профилактики ИОХВ до сих пор остается спорным из-за отсутствия качественных и масштабных исследований.

## Цель исследования

Проанализировать частоту ИОХВ после аорто-коронарного шунтирования с забором двух внутренних грудных артерий, выявить прогностические факторы и определить показания для топического интраоперационного использования ванкомицина.

## Материал и методы

Проспективное исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской Декларации. Протокол исследования был одобрен этическим комитетом ФГБУ «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Минздрава РФ (г. Пенза). У всех включенных в исследование было получено письменное информированное согласие. С января 2015 г. по декабрь 2022 г. в ФГБУ «ФЦССХ» Минздрава России (г. Пенза) 6728 пациентам выполнено изолированное КШ с использованием двух внутренних грудных артерий (ВГА). Исходя из поставленной задачи, пациентов разделили на 2 группы:

**1 группа:** бимаммарное шунтирование без местного применения ванкомицина и местного использование ванкомицина у всех пациентов — 3953 пациента; В 2015 и в 2022 год ванкомицин применялся интраоперационно сплошным методом. Методика была применена при всех стернотомиях без исключений. В 2016, 2020 и 2021 году местное применение ванкомицина при стернотомиях было исключено.

**2 группа.** Топическое использование ванкомицина только у пациентов с определенными факторами риска — 2775 пациентов. В 2017, 2018 и в 2019 годах, согласно разработанной нами Программы стратегии контроля антимикробной терапии (СКАТ), топическая профилактика проводилась лицам по следующим показаниям: возраст более 72 лет, ИМТ более 32, сахарный диабет (СД), хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), при операциях с искусственным кровообращением (ИК) более 180 мин, при продолжительности операции более 5 ч, при повторном хирургическом вмешательстве независимо от срока давности.

Пациенты 1 и 2 группы были схожи по большинству клинических и антропометрических факторов.

Клинико-демографическая характеристика пациентов представлена в табл. 1.

Таблица 1.  
Клинико-демографическая характеристика пациентов

Фактор	1 группа, m±SD, % n = 3953	2 группа, m±SD, % n = 2775	p
Возраст, лет, m±SD	61,3±9	61,1±8	0,9
старше 72 лет, %	73 (4,4)	67 (2,4)	0,3
Мужчины, %	3154 (79,8)	2220 (80)	0,8
ИМТ, m±SD	29,7±3,2	29,9±3	0,9
более 30	1772 (44,8)	1259 (45,4)	0,7
более 32	1163 (29,4)	824 (29,7)	0,8
СД, %	1109 (28)	813 (29,3)	0,2
МФА, %	901 (22,8)	587 (21,2)	0,1
ХОБЛ, %	119 (3)	83 (3)	0,9
Escore, %	3±3,4	3,1±3,6	0,9
более 5, %	539 (13,6)	360 (13)	0,4
более 10, %	104 (2,6)	88 (3,2)	0,1
Дней до операции, m±SD	2,7±5,6	2,9±5,2	0,9
более 3, %	1304 (33)	921 (33,2)	0,8
более 7, %	75 (1,9)	55 (2)	0,8

Примечание. ИМТ — индекс массы тела, СД — сахарный диабет, МФА — метод флюоресцирующих антител, ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких.

Методика топического применения ванкомицина заключалась в следующем: перед остеосинтезом грудины губчатое вещество обрабатывают пастой ванкомицина (смесь 3 г антибиотика и 4 мл 0,9 % раствора NaCl).

Периоперационно пациенты всех групп получали цефалоспорины II поколения — цефутоксим (1,5 г в/в за 30 мин до разреза, затем 1,5 г в аппарате искусственного кровообращения (АИК) и далее каждые 3 ч в течение операции. В послеоперационном периоде периоперационная профилактика продолжалась 48–72 ч.

Критерии, используемые для определения и классификации раневых инфекций грудины, соответствовали Стандартам определения случая ИОХВ предложенными МР «Профилактика инфекций в области хирургического вмешательства». Рану считали инфицированной если имелось:

- гнойное отделяемое из стернотомной раны
- несостоятельность раны (расхождение краев), а также намеренное ее открытие хирургом
- получение положительной микробиологической культуры их раневого отделяемого.

Учету подлежали все раневые инфекции развившиеся в течении 30 календарных дней после оперативного вмешательства.

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программы SPSS 27. С помощью теста Колмогорова-Смирнова проверены все количественные переменные на нормальность. Переменные с нормальным распределением представлены в виде M±SD, при отсутствии нормального распределения — в виде медианы и 25 и 75 процентилем. Критический уровень значимости — 0,05. Количественные переменные оценивались с помощью теста Стьюдента при нормальном распределении, в остальных случаях использовался критерий Манна-Уитни. Качественные переменные оценивались с помощью критерия хи-квадрат. Предикторы инфекционных осложнений оценивались с помощью унивариантной и множественной логистической регрессии.

### Результаты

В результате проведенного исследования установлено, достоверно чаще ИОХВ развивалась в 1 группе (p=0,001), даже несмотря на то, что во второй группе была значительно выше интраоперационная кровопотеря (p=0,001) (см. табл. 2).

Таблица 2.  
Исследование интраоперационных и послеоперационных результатов и факторов риска по группам

Фактор	1 группа, m±SD, %	2 группа, m±SD, %	p
Всего дней госпитализации, m±SD	10,7±1,2	10,7±1,2	1
Длительность оперативного вмешательства (мин), m±SD	204,8±34	198±40	0,4
более 360 мин	22 (0,6)	23 (0,8)	0,1
ИК (мин), m±SD	59,8±23	63,2±28	0,7
ИК более 180 мин, %	9 (0,2)	6 (0,2)	0,9
ИМ (мин), m±SD	38,8±8	39,9±9	0,9
Кровопотеря (мл), m±SD	232,2±53	283,5±55	0,001
Кровопотеря более 1000 мл, %	7(0,2)	7 (0,3)	0,5
Летальность, %	18 (0,5)	10 (0,4)	0,5
Ванкомицин топически, %	1495 (37,8)	1861 (67)	0,001
ИОХВ, %	73 (1,9)	19 (0,7)	0,001

Примечание. ИК — искусственное кровообращение, ИМ — ишемия миокарда, ИОХВ — инфекция в области хирургического вмешательства.

Как видно из табл. 3 и из рис. 1 при сплошном использовании ванкомицина или при исключении местного применения ванкомицина при стернотомиях (группа 1) растет количество и доля осложнений.

Так же при сплошном использовании ванкомицина (2015 г. и 2022 г.) мы наблюдаем резкое увеличение в этиологии ИОХВ грамотрицательной флоры, представленной в основном полирезистентными штаммами энтеробактерий и неферментирующих грамотрицательных микроорганизмов до 92,3 %, что потребовало назначение дополнительной, подчас комбинированной, антибактериальной терапии.

При избирательном применении методики топического использования ванкомицина по показаниям количество и доля осложнений существенно уменьшается.

Для определения предикторов ИОХВ использована унивариантная логистическая регрессия. В качестве независимых предикторов выбраны общепринятые факторы риска развития инфекционных осложнений по данным мировой литературы. Значимые предикторы исследованы с помощью множественной логистической регрессии. Результаты множественной логистической регрессии представлены в табл. 4.

По результатам регрессии выявлено три статистически значимых предиктора: возраст, ИМТ и использование ванкомицина по показаниям. При увеличении возраста пациента на 1 год шанс развития ИОХВ возрастает на 4 %. При увеличении значения ИМТ на 1 единицу шанс развития ИОХВ возрастает на 6 %. Использование ванкомицина по показаниям уменьшает шанс развития

Таблица 3.

Топическое применение ванкомицина по годам

год \ ванкомицин	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	Всем пациентам	Не применялся	По показаниям			Не применялся		Всем пациентам
АКШ	720	840	832	1033	910	798	820	775
ИОХВ	11	12	8	7	4	12	25	13
Показатель ИОХВ на 100 операций	1,5	1,4	0,9	0,7	0,4	1,5	3	1,7
Ванкомицин (кол-во пациентов)	720	0	420	586	513	0	0	775
Гр «+» флора (%)	27,3	91,7	62,5	57	50	91,7	84	7,7
Дней госпитализации	44	36	24	30	30	45	35	32

Примечание. АКШ — аортокоронарное шунтирование, ИОХВ — инфекция в области хирургического вмешательства.

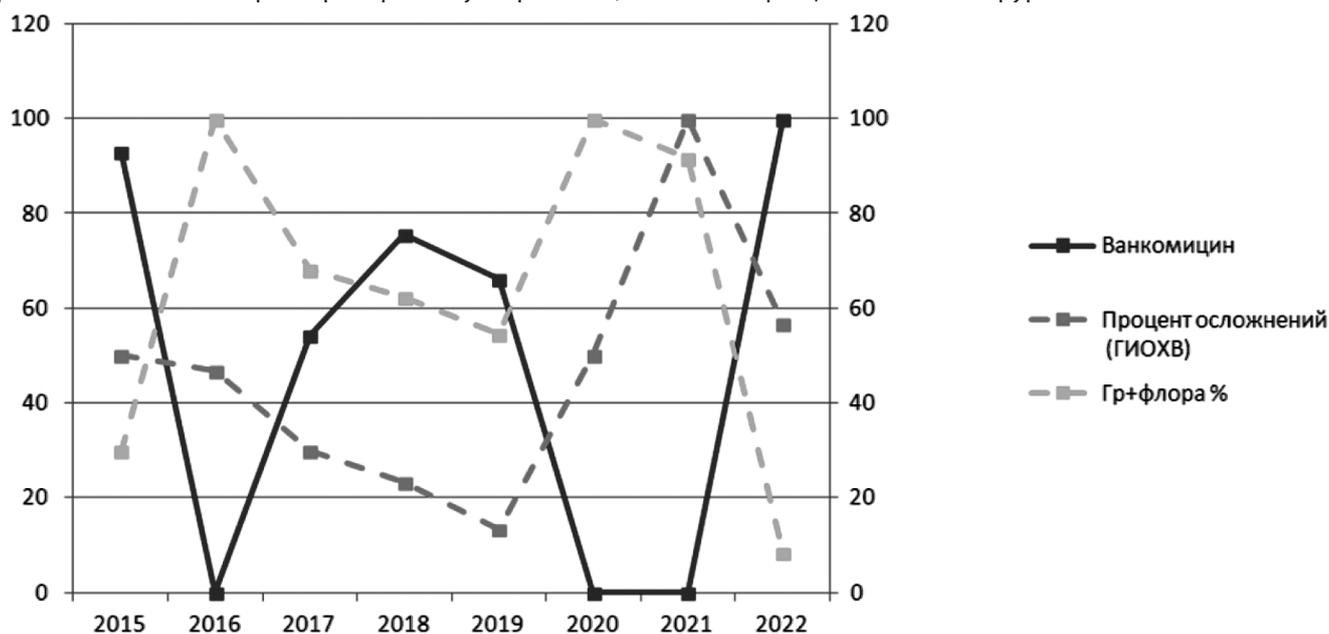


Рис. 1. Зависимость числа осложнений от топического применения ванкомицина

Таблица 4.  
Предикторы ИОХВ по результатам множественной логистической регрессии

Предиктор	p	ОШ	95% доверительный интервал для	
			нижняя	верхняя
Возраст	0,009	1,045	1,011	1,080
Escore	0,969	1,001	0,936	1,071
Фракция выброса	0,588	1,003	0,991	1,016
ИМТ	0,011	1,063	1,014	1,114
Пол (мужчины)	0,187	0,693	0,402	1,195
ХОБЛ	0,824	0,851	0,205	3,527
Время искусственного кровообращения	0,071	0,984	0,967	1,001
Время ишемии миокарда	0,254	1,015	0,990	1,041
Длительность операции	0,068	1,002	1,000	1,005
Сахарный диабет	0,066	0,647	0,407	1,029
Кровопотеря	0,301	1,001	0,999	1,002
Ванкомицин	0,747	1,083	0,666	1,760
Ванкомицин по показаниям	0,007	0,742	0,691	0,784

Примечание. ОШ — отношение шансов, ИМТ — индекс массы тела, ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких.

ИОХВ на 26 %. Шанс развития ИОХВ определен по значению ОШ по формуле  $100 \% - (100 \% \times \text{ОШ})$ .

### Обсуждение

Наши результаты имеют важное клиническое значение для периоперационной антибиотикопрофилактики в современной кардиохирургии.

Учитывая, что риск развития ИОХВ за последние годы существенно снизился и что в настоящее время доступен ряд стратегий профилактики раневых инфекций, которые показали многообещающие результаты, бимаммарное шунтирование должно чаще использоваться у пациентов. Топическое интраоперационное использование ванкомицина у пациентов с факторами риска нивелирует факторы риска развития ИОХВ. Кардиоторакальные хирурги должны знать и использовать все стратегии, которые потенциально могут снизить риск развития ИОХВ. При тщательном отборе пациентов и эффективном использовании профилактических стратегий риск развития раневых инфекций может быть сведен к нулю. Учитывая хорошо доказанное преимущество

в выживаемости, мы считаем, что коронарная реваскуляризация с использованием двух внутренних грудных артерий должна быть обычной операцией для большинства пациентов.

С июля 2014 года в ФГБУ «ФЦССХ» Минздрава России (г. Пенза) применяется метод профилактики стерильной инфекции, включающий местное использование ванкомицина. Данный метод предложил использовать P. Vogt в 2006 г. [22].

Топическое применение ванкомицина не лишено рисков. Абхирам Ганде и др. в своем метаанализе [21] показали, что частота грамотрицательной и полимикробной ИОХВ была значительно выше в группе топического применения ванкомицина (35,8 % против 18,5 %,  $p < 0,05$ ), то есть риск развития грамотрицательной и полимикробной инфекции в 2 раза выше. Гобриал и др. [20] в своем исследовании продемонстрировали, что в культурах, полученных от пациентов, получавших местное применение порошка ванкомицина, 60,7 % содержали грамотрицательные организмы, по сравнению с 21 % в контрольной группе, не получавшей ванкомицин для местного применения. В их исследовании преобладающими грамотрицательными организмами были *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis* и *Pseudomonas aeruginosa*, а также полимикробные инфекции.

В нашем исследовании мы так же показали, что в случае рутинного интраоперационного использования ванкомицина происходит селективное давление, приводящее к увеличению распространенности грамотрицательных и полимикробных раневых инфекций.

Возможно, что добавление расширенного спектра грамотрицательных противомикробных препаратов в качестве дополнения к местному профилактическому применению ванкомицина может снизить риск развития отдельных грамотрицательных патогенов. Наконец, по-прежнему не хватает крупных проспективных рандомизированных контролируемых исследований с долгосрочным наблюдением, изучающих фармакокинетику и эффективность порошка ванкомицина для местного применения во время операции, а также другие осложнения, связанные с приемом препарата.

### Выводы

1. Предикторами развития инфекции раны достоверно являлись возраст, высокий показатель ИМТ, и использование ванкомицина по показаниям ( $p < 0,05$ ).
2. При избирательном применении методики топического использования ванкомицина по показаниям количество осложнений существенно уменьшается.

3. При сплошном использовании ванкомицина происходит увеличение доли грамотрицательной флоры, представленной в основном полирезистентными штаммами, в этиологии ИОХВ, что требует назначение дополнительной комбинированной антибактериальной терапии.
4. Топическое интраоперационное использование ванкомицина у пациентов с факторами риска нивелирует факторы риска развития ИОХВ.
5. При увеличении возраста пациента на 1 год шанс развития ИОХВ возрастает на 4 %. При увеличении значения ИМТ на 1 единицу шанс развития ИОХВ возрастает на 6 %. Использование ванкомицина по показаниям уменьшает шанс развития ИОХВ на 26 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gaudino M, Benedetto U, Fremes S, Biondi-Zoccai G, Sedrakyan A, Puskas JD, et al. Radial-Artery or Saphenous-Vein Grafts in Coronary-Artery Bypass Surgery. *N Engl J Med* 2018; 378: 2069–77.
2. Taggart DP, Benedetto U, Gerry S, Altman DG, Gray AM, Lees B, et al. Bilateral versus Single Internal-Thoracic-Artery Grafts at 10 Years. *N Engl J Med* 2019; 380: 437–46.
3. Schwann TA, Tatoulis J, Puskas J, Bonnell M, et al. Worldwide Trends in Multi-arterial Coronary Artery Bypass Grafting Surgery 2004–2014: A Tale of 2 Continents. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2017;29: 273–80.
4. Bisleri G., Di Bacco L., Giroletti L., Total arterial grafting is associated with improved clinical outcomes compared to conventional myocardial revascularization at 10 years follow-up. *Heart Vessels*. 2017;32(2):109–116. PMID: 27142066. <https://doi.org/10.1007/s00380-016-0846-6>
5. Taggart D.P. Implications of the 10-year outcomes of the Arterial Revascularization Trial (ART) for multiple arterial grafts during coronary artery bypass graft. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2019;56(3):427–428. PMID: 31168576. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezz174>
6. Жбанов И.В., Мартиросян А.К., Урюжников В.В. и др. Множественное коронарное шунтирование с использованием двух внутренних грудных артерий. *Клиническая и экспериментальная хирургия. Журнал имени академика Б.В. Петровского*. 2018;6(4(22)):66–74.
7. Бокерия Л.А., Милюевская Е.Б., Кудзоева З.Ф. и др. Сердечно-сосудистая хирургия — 2018. М.: Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева; 2019. С. 270.
8. Schwann TA, Habib RH, Wallace A, Shahian DM, O'Brien S, Jacobs JP, et al. Operative Outcomes of Multiple-Arterial Versus Single-Arterial Coronary Bypass Grafting. *Ann Thorac Surg* 2018;105:1109–19.
9. Puskas JD, Sadiq A, Vassiliades TA, Kilgo PD, Lattouf OM. Bilateral Internal Thoracic Artery Grafting Is Associated With Significantly Improved Long-Term Survival, Even Among Diabetic Patients. *Ann Thorac Surg* 2012;94:710–6.
10. Boodhwani et al. — 2006. — Skeletonized Internal Thoracic Artery Harvest Redu.pdf n.d
11. Kamiya H, Akhyari P, Martens A, Karck M, Haverich A, Lichtenberg A. Sternal microcirculation after skeletonized versus pedicled harvesting of the internal thoracic artery: A randomized study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2008;135:32–7. doi: 10.1016/j.jtcvs.2007.09.004.
12. Vander Salm T.J., Okike O.N., Pasque M.K. Reduction of sternal infection by application of topical vancomycin. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1989; 98(4): 618–622.
13. Tang G.H., Maganti M., Weisel R.D., et al. Prevention and management of deep sternal wound infection. *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2004; 16(1): 62–69.
14. Базылев В.В., Росейкин Е.В., Карпунькин О.А. и др. Сравнительный анализ результатов применения методики элиминации стеральной инфекции и стандартной методики проведения кардиохирургических операций. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2014; 2: 134–139.
15. Базылев В.В., Карпунькин О.А., Воеводин А.Б. и др. Профилактика раневой инфекции в кардиохирургии: насколько оправдано местное применение антибиотиков? *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2015; 2: 107–114.
16. Adogwa O, Elsamadicy AA, Sergesketter A, Vuong VD, Mehta AI, et al. (2017) Prophylactic use of intraoperative vancomycin powder and postoperative infection: An analysis of microbiological patterns in 1200 consecutive surgical cases. *J Neurosurg Spine* 27: 328–334.
17. Chotai S, Wright PW, Hale AT, Jones WA, McGirt MJ, et al. (2017) Does intrawound vancomycin application during spine surgery create vancomycin-resistant organism? *Neurosurgery* 80: 746–753.
18. Ghobrial GM, Hakkar V, Andrews E, Lang M, Chitale A, et al. (2014) Intraoperative vancomycin use in spinal surgery: Single institution experience and microbial trends. *Spine* 39: 550–555.
19. Abhiram Gande, Alex Rosinski, Torin Cunningham, et al. Selection pressures of vancomycin powder use in spine surgery: a meta-analysis. *The Spine Journal Volume* 19, Issue 6, June 2019, Pages 1076–1084
20. Vogt P. Elimination of deep and superficial sterna wound infection. *Abstr. 30-th Cardiovascular surgical symposium. Zurs, Austria. 2012.*

© Базылев Владлен Владленович (cardio-penza@yandex.ru); Шутов Дмитрий Борисович (shdb20@yandex.ru); Медовщикова Светлана Евгеньевна (svfedoseeva@yandex.ru); Асташкин Андрей Федорович (zavorgmetod@cardio-penza.ru); Карнахин Вадим Александрович (vkhin@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ХРОНИЧЕСКИЕ И ДЛИТЕЛЬНО НЕЗАЖИВАЮЩИЕ РАНЫ У ДЕТЕЙ – АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ И ОБЗОР МЕТОДОВ ЛЕЧЕНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

## CHRONIC AND LONG-TERM NON-HEALING WOUNDS IN CHILDREN — THE RELEVANCE OF THE PROBLEM AND A REVIEW OF TREATMENT METHODS AT THE PRESENT STAGE

**N. Barova  
E. Eskina  
A. Stryukovsky  
A. Grigороva  
A. Ediji**

*Summary.* Treatment of wounds and wound infection is one of the urgent problems of surgery, including pediatric surgery. Among the most complex wounds that often require not only a comprehensive but also an individually selected treatment and rehabilitation program to achieve a positive outcome, are chronic and long-term non-healing wounds. The importance of this problem is due to: high frequency of occurrence, the presence of a persistent tendency to further progression, and insufficient effectiveness of traditional treatment methods. Currently, there is a steady increase in pathogenic and opportunistic microflora resistant to antibacterial drugs, which increases the risk of an unfavorable treatment outcome. A large number of physical, chemical and biological treatment methods have an undoubted positive effect. Given the multi-stage nature of the pathological process and a large number of factors affecting wound repair, it is necessary to systematize treatment methods and create a single comprehensive program for the treatment, rehabilitation and prevention of chronic and long-term non-healing wounds in children.

*Keywords:* chronic wound, long-term non-healing wound, children, treatment methods.

**Барова Натуся Каплановна**

кандидат медицинских наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский  
университет» Минздрава России, г. Краснодар  
nbarova@yandex.ru

**Ескина Екатерина Николаевна**

аспирант, ассистент, ФГБОУ ВО «Кубанский  
государственный медицинский университет»  
Минздрава России, г. Краснодар  
k.eskina962006@gmail.com

**Стрюковский Андрей Евгеньевич**

кандидат медицинских наук, ФГБОУ ВО «Кубанский  
государственный медицинский университет»  
Минздрава России, г. Краснодар  
an-str@bk.ru

**Григорова Алина Николаевна**

кандидат медицинских наук, ФГБОУ ВО «Кубанский  
государственный медицинский университет»  
Минздрава России, г. Краснодар  
alina.mashchenko@gmail.com

**Едиджи Алий Аскерович**

Ассистент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
медицинский университет»  
Минздрава России, г. Краснодар  
Alkes16@mail.ru

*Аннотация.* Лечение ран и раневой инфекции является одной из актуальных проблем хирургии, в том числе и детской. В ряду наиболее сложных ран, требующих, для достижения положительного исхода, зачастую не только комплексной, но и индивидуально подобранной программы лечения и реабилитации являются хронические и длительно незаживающие раны. Важность данной проблемы обусловлена: высокой частотой встречаемости, наличием стойкой тенденции к дальнейшему прогрессированию, недостаточной эффективностью ставших традиционными методов лечения. В настоящее время отмечается неуклонный рост резистентной к антибактериальным препаратам патогенной и условно-патогенной микрофлоры, что повышает риск неблагоприятного исхода лечения.

Большое количество физических, химических и биологических методов лечения имеют несомненный положительный эффект. Учитывая многостадийность патологического процесса и большое количество факторов, влияющих на репарацию ран, необходима систематизация методов лечения и создание единой комплексной программы лечения, реабилитации и профилактики хронических и длительно незаживающих ран у детей.

*Ключевые слова:* хроническая рана, длительно незаживающая рана, дети, методы лечения.

**П**роблема лечения ран была актуальна с древнейших времен. Описания применения различных методов их терапии встречаются в литературных источниках III века до нашей эры в работах древних египтян, шумеров, индийцев. Для лечения ран ими применялись, масла, смолы, молоко, повязки из льна, шерсти и шелка [1–3].

Значимый вклад в лечение ран внес Гиппократ, сформулировавший первоначальные понятия о первичном и вторичном заживлении ран, впервые поднявший вопросы асептики, начавший применять гироскопичные повязки [2,3].

Большое значение в развитии лечения ран имело создание в древнем Риме госпиталей, разработка и применение различных методов остановки кровотечения. Впервые Цельс ввел понятие о «свежей» и «хронической» ранах и разных подходах к их лечению, а Гален стал применять дренирование и ушивание ран [1–3].

В средневековье Лонгобурго выдвинул гипотезу о необязательности нагноения раны и ввел понятие «*per primam*» и «*per secundam intentionem*». Амбруаз Паре стал использовать повязки с маслами и яичным белком в лечении раневых поверхностей, перевязывать нитью кровоточащие сосуды и накладывать швы на рану [1–4].

В новое время Пьер-Жозеф Дезо и его ученик Д.Ж. Ларрей начали разработку и применение хирургической обработки раны. И. Бильгер использовал нашатырный и камфорный спирты и одним из первых стал отрицать необходимость часто проводимых в то время ампутаций конечностей [1, 5].

Конец XIX — начало XX веков ознаменовались созданием основных положений об асептике и антисептике и широким применением различных антисептических средств в практической медицине [3].

Настоящей революцией в лечении различных ран, в XX веке, стало появление антибиотиков и сульфаниламидов. Однако, применение антибактериальных препаратов не только не решило всех проблем, связанных с лечением ран и раневой инфекции, но и породило новые, связанные с появлением и широким распространением антибиотикорезистентных штаммов патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, повлиявших на процессы очищения раневой поверхности и репарации тканей. Особенно большое значение коррекция этих нарушений и стимуляция репаративных процессов приобретает при лечении пациентов с хроническими и длительно не заживающими ранами [2].

В настоящее время под хроническими подразумевают раны, которые не заживают в течение стандартного

для данного типа тканей временного интервала [6]. Последний, по мнению различных авторов, может колебаться в достаточно широких границах — от 3 до 12 недель [6–9]. Длительно незаживающей считают рану с нарушенной из-за неблагоприятных фоновых состояний репарацией [6].

В настоящее время отсутствует единая общепринятая классификация хронических и длительно незаживающих ран. Используемые в клинической практике различные классификации учитывают большое количество факторов: глубину поражения, этиологию, наличие сопутствующей патологии [6, 10, 11, 12].

Эпидемиология данных нозологических форм (хронические и длительно незаживающие раны) у детей изучена недостаточно. Имеющиеся данные говорят о достаточно высокой частоте встречаемости этой патологии — до 2 % от общего числа населения мира и ее ежегодном росте, который в 2–3 раза превышает рост других видов ран [8–11]. Источники информации о распространенности хронических и длительно незаживающих ран у детей немногочисленны и носят разрозненный характер. По мнению авторов, описывающих эпидемиологию пролежней (наиболее часто встречающийся вид хронических ран в детском возрасте), их распространенность у детей в мире составляет от 0,47 % до 35 %, при этом 38,5–90 % пролежней связаны с применением медицинских устройств [13–15].

Постоянно увеличивающееся количество детей с различной преморбидной патологией, к которой относится: персистирующие инфекции, сахарный диабет, ожирение, различные формы первичных и вторичных иммунодефицитных состояний, системные и онкологические заболевания, врожденная и приобретенная патология сердечно-сосудистой системы формирует возрастающую значимость проблемы лечения детей носителей хронических и длительно незаживающих ран. Особого внимания заслуживают пациенты с врожденными и приобретенными поражениями спинного мозга, имеющиеся нарушения нейротрофики у которых требует индивидуального подхода. Помимо преморбидной патологии, к факторам, способствующим формированию хронических и длительно незаживающих ран, относятся возрастные анатомо-физиологические особенности (тонкие, ранимые эпидермис и дерма, высокий pH кожи (6,7), высокая сосудистая проницаемость, несовершенство работы сальных желез, несформированность подкожно-жирового слоя), широкое применение ряда фармакологических препаратов (глюкокортикоиды, нестероидные противовоспалительные средства, цитостатики), вредные привычки, психоэмоциональный статус родителей и пациента, социальные факторы семьи [8, 11, 16, 17].

Сочетание различных предрасполагающих факторов с рецидивирующим инфекционным процессом, сопро-

вождающиеся образованием биологических пленок и гипоксией тканей приводит к повреждению клеток, неадекватному течению раневого процесса. Длительное, рецидивирующее воспаление, замедленный процесс ангиогенеза и нарушение пролиферации клеток с неадекватным ремоделированием приводят к формированию незаживающей раны [11].

Гистологическая картина хронической и острой раны значительно отличается друг от друга. Макроскопически для хронической раны характерно наличие ряда достаточно специфических признаков в различных стадиях раневого процесса. В своем ложе хроническая рана содержит некротизированные ткани, бледные грануляции. Процессы эпителизации угнетены, рана неспособна к репарации под струпом. Различные фазы раневого процесса обуславливают «пестрый» вид незаживающей раны. В большом количестве случаев присутствует неприятный запах [7, 10, 18].

В зависимости от этиологии и сопутствующей патологии, клиническая картина ряда хронических и длительно незаживающих ран имеет достаточно специфические признаки. Ишемические раны чаще всего локализуются в дистальных отделах нижних конечностей, имеют округлую форму с четкими границами. Раневое ложе бледное, зачастую с нежизнеспособными тканями, края зачастую подрытые. Нарушение венозного кровотока приводит к развитию ран, локализующихся в нижней трети голени. Эти раны имеют неровные, валикообразные края. Дно раневого дефекта содержит бледные грануляции и фибрин. Данный тип хронических ран сопровождается обильным отделяемым [11].

Одним из наиболее часто встречающихся вариантов хронических ран у детей являются пролежни. Их клиническая картина в значительной мере зависит от стадии пролежня и фазы раневого процесса. Для 2-й стадии характерно образование поверхностной язвы с ровными краями и небольшим количеством экссудата. В 3-й стадии отмечается подрытость краев раневого дефекта и наличие некротических масс на дне. 4-я стадия представлена глубоким дефектом с поражением мышечной и костной ткани с большим количеством зон некроза. При неоказании адекватной помощи возможно формирование глубоких затеков и свищей [11, 19].

При лечении данного контингента больных применяются классические положения Краснобаева Т.П. Воздействие на макро- и микроорганизм проводится по традиционным методам с использованием современных достижений фармакологии. Большое значение в лечении данной группы пациентов приобретает местное лечение раны.

В настоящее время используется теория обработки ран «Wound Bed Preparation» и концепция TIMERS, с пе-

реводом хронической раны в острую и удалением нежизнеспособных тканей и биологических пленок, и терапией в соответствии с изменениями, происходящими в ране [6, 20–22].

Большое значение при лечении хронических и длительно незаживающих ран должно уделяться фазе раневого процесса. Применение классической хирургической обработки раны не всегда позволяет добиться удовлетворительного результата. Для эффективной обработки раневого дефекта применяется большая совокупность физических, химических и биологических методов [6, 8, 16].

К основным физическим методам обработки ран относят: ультразвуковую кавитацию, вакуумную терапию, гидрохирургическую обработку, плазменные потоки, обработку пульсирующей струей жидкости, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, гипербарическую оксигенацию, криогенную стимуляцию «углекислотным снегом», высокоэнергетическое лазерное излучение и низкоэнергетический лазер. К химическим: применение протеолитических ферментов, раневых покрытий, биомедицинские микросферы. К биологическим методам относятся использование личинок. Объективной информации о преимуществе определенного метода над другими, в настоящее время, в доступной литературе нет. Каждый из них имеет ряд преимуществ и недостатков [23].

Ультразвуковая кавитация позволяет быстро и безопасно удалять некротические массы, уничтожать патогенные микроорганизмы и образуемую ими биопленку, улучшать местное кровообращение и трофику тканей, обеспечивая очищение раневого ложа, регрессию воспаления и стимуляцию репарации раны. При использовании метода на ранах до начала отторжения некротических тканей, его эффективность снижается. Недостаточная аспирация жидкости может привести к контаминации окружающих предметов и воздуха [23, 24].

Вакуумная терапия является высокоэффективным и перспективным методом лечения ран. Он обеспечивает такие положительные эффекты, как удаление экссудата, уменьшение отека, поддержание оптимального уровня влажности, деконтаминацию раны, улучшение кровоснабжения и трофики тканей, устранение гипоксии, стимуляцию пролиферации клеток и ангиогенеза, сокращение площади раневой поверхности, снижение трудовых и экономических затрат на лечение, купирование проявлений психоземotionalного стресса от частых и болезненных перевязок, снижение риска развития нозокомиальных инфекций за счет герметичности и нечастой смены повязки. При применении метода возможно развитие ряда осложнений: кровотечение, ишемия и травматизация тканей при прорастании гра-

нуляций. Противопоказанием к применению вакуумных повязок являются раны с большим количеством некротической ткани и выраженные нарушения кровоснабжения [25–27].

Гидрохирургическая обработка раны позволяет быстро, точно и радикально удалить нежизнеспособные ткани и разрушить биологическую пленку в ранах практически любой конфигурации, при этом не повреждая здоровые ткани. Однако при использовании данного метода не удаляется твердый струп, отмечается высокая контаминация воздуха патогенной микрофлорой и неточность обработки при увеличении потока [28, 29].

Применение плазменных потоков обеспечивает быструю и эффективную хирургическую обработку раны с удалением очагов некроза, одновременной коагуляцией сосудов и стерилизацией раны. Данный метод может быть использован при лечении детей с ранами большой площади. Использование в «терапевтическом» режиме обеспечивает адекватную деконтаминацию раны, оказывает противовоспалительный эффект и ускоряет процессы репарации. Однако, оборудование для применения плазмы является весьма дорогостоящим, а нарушение методики проведения обработки может быть травматичным для пациента [31, 32].

Обработка раны пульсирующей струей антисептика позволяет механически удалить нежизнеспособные ткани, инородные тела и сгустки крови, а также на 1–3 порядка снизить контаминацию раны. К его недостаткам следует отнести распространение брызг инфицированного раствора и связанное с этим загрязнение операционной или перевязочной [33].

Ультрафиолетовое и инфракрасное излучение оказывают выраженное бактерицидное действие. При этом инфракрасное излучение имеет также хороший противовоспалительный эффект, улучшает микроциркуляцию тканей и пролиферацию клеток, уменьшает отек. Тем не менее, применение неправильной длины волны ультрафиолетового излучения может привести к повреждению кожи и органа зрения, оказывает канцерогенный эффект [34, 35].

Гипербарическая оксигенация значительно улучшает кровообращение, стимулирует ангиогенез и пролиферацию клеток, оказывает противовоспалительный и антимикробный эффекты, ускоряя заживление ран. Применение метода сопряжено с риском развития таких осложнений, как баротравма, судорожный синдром, повреждение органов зрения [36–39].

Использование «углекислотного снега» приводит к переводу хронической раны в острую с разрушением и дальнейшим отторжением клеток раневого ложа.

Метод способствует улучшению микроциркуляции и трофики тканей, ускоряя заживление раны. При ранах с большой площадью криогенная стимуляция «углекислотным снегом» затруднительна, возможно излишнее повреждение тканей [40].

Высокоэнергетическое лазерное излучение обеспечивает удаление некротизированных тканей и стерилизацию раны с минимизацией повреждения жизнеспособных тканей. При его использовании уменьшается экссудация, стимулируется пролиферация клеток, улучшается микроциркуляция. Применение низкоэнергетического лазера также существенно улучшает кровоснабжение тканей, уменьшает отек и стимулирует заживление раны. Некорректное применение метода может привести к дополнительной травматизации тканей [41–43].

В лечении пациентов с длительно не заживающими ранами находят широкое применение различные химические факторы. Применение протеолитических ферментов обеспечивает более быстрое очищение раны, способствуя ускорению ее перехода во вторую фазу раневого процесса. Однако, применение «классических» протеолитических ферментов может приводить к повреждению жизнеспособных тканей, а их действие достаточно кратковременно. Применение ферментных препаратов данной группы, стабилизированных на целлюлозной основе, пролонгирует эффективность терапевтического эффекта, но не решает проблему полностью [44].

Несомненным прогрессом в лечении ран и раневой инфекции в последние годы явились разработка и внедрение в практическую деятельность современных раневых покрытий, предназначенных для любой фазы раневого процесса. Они атравматичны, способны удалять избыточный экссудат, одновременно поддерживая оптимальную влажность, pH и температуру в раневом ложе, защищают рану от повреждений и микроорганизмов, инициируют процессы репарации и др. Несомненным плюсом некоторых из них является отсутствие необходимости в ежедневной смене. Некоторые покрытия содержат в своём составе вспомогательные вещества и лекарственные препараты, оказывающие гемостатический, противовоспалительный, антибактериальный и другие эффекты [45, 46].

Раневые покрытия могут быть различны по своей структуре и терапевтическому эффекту.

Сорбирующие покрытия впитывают большое количество экссудата, содержащего патогенные микроорганизмы, значительно уменьшают отек. Они могут содержать лекарственные препараты с противомикробным и гемостатическим действием [45, 47, 48].

Губчатые покрытия поглощают экссудат в умеренном или значительном (в зависимости от толщины повязки) количестве, как правило, имеют в составе антимикробные препараты [47, 48].

Альгинаты хорошо впитывают экссудат и бактерии, трансформируясь в гель, оказывающий гемостатический эффект и поддерживающий оптимальную среду для репарации тканей [46–48].

Гидрогели равномерно заполняют раны практически любой формы, способны впитывать экссудат в умеренном количестве, хорошо увлажняют рану, обеспечивают эффективное отторжение некротических тканей [46–48, 49–51].

Гидроколлоиды трансформируются в гель при контакте с экссудатом, эффективно поддерживают влажную среду, но имеют небольшую поглотительную способность [46–48].

Коллагеновые покрытия хорошо защищают рану и стимулируют процессы репарации, улучшая пролиферацию клеточных элементов и образование грануляционной ткани. Зачастую содержат гемостатические и противомикробные средства [45, 47, 48].

Сетчатые покрытия защищают рану, препятствуя ее высыханию и прилипанию повязки, обычно содержат в составе вспомогательные вещества с противовоспалительным, антимикробным, гемостатическим действием [47, 48].

Пленочные покрытия обеспечивают удаление избыточной жидкости с поддержанием оптимального уровня влажности, защищают рану, стимулируют пролиферацию клеток [46–48].

Биомедицинские микросферы являются перспективным методом лечения, учитывая их многочисленные эффекты — противомикробный, противовоспалительный, гемостатический, противоотечный, стимулирующий пролиферацию клеток и ангиогенез. Использование микросфер позволяет обеспечить длительное и равномерное поступление в рану лекарственных веществ, что позволяет эффективно и экономично использовать антибактериальные и гемостатические препараты, факторы роста. Это способствует значительному ускорению репарации раны [52, 53].

### Заключение

Лечение детей с хроническими и длительно незаживающими ранами является актуальной и сложной задачей детской хирургии на современном этапе. На течение раневого процесса оказывает влияние большая совокупность вышеописанных факторов. Многогранность этиологии, стадийность течения раневого процесса, значительное количество возможных осложнений и факторов, влияющих на репаративный процесс, лежит в основе появления большого количества различных методов терапии. Для лечения данного контингента больных разработаны и внедрены в клиническую практику разнообразные физические, химические и биологические методы лечения и обработки ран. Применение каждого отдельно взятого метода имеет несомненный положительный эффект, однако лишь создание комплексной программы лечения детей с хроническими и длительно незаживающими ранами, с учетом всей многогранности патологии, позволит добиться кардинального улучшения результатов терапии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов А.Г., Липин А.Н., Козлов К.Л. Лечение хронических ран — взгляд через века // Кубанский научный медицинский вестник. 2016. — №5 (160). — С. 147–153.
2. Мирский М.Б. История медицины и хирургии, 2-е издание // «ГЭОТАР-Медиа», Москва, 2020.
3. Морозов А.М., Сергеев А.Н., Жуков С.В., Варпетян А.М., Рыжова Т.С., Муравлянцева М.М., Джафаров В.Т. Исторические аспекты асептики и антисептики // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье — 2021, №6.
4. Аль-Канани Э.С., Куликовский В.Ф., Гостищев В.К., Ярош А.Л., Карпачев А.А., Солошенко А.В., Жарко С.В., Линник М.С. Лечение гнойной инфекции мягких тканей: от истории к настоящему (литературный обзор) // Актуальные проблемы медицины. — 2020 — 43(1) — С. 155–164.
5. Иваненко В.В. 250 лет со дня рождения Доминика Жака Ларрея — новатора военно-полевой хирургии // Вестник Совета молодых учёных и специалистов Челябинской области. — 2016. — 4(2) — С. 15.
6. Оболенский В.Н. Современные методы лечения хронических ран // Медицинский совет. — 2016. — №10. — С. 148–154.
7. Славников И.А., Дундаров З.А., Ярец Ю.И. Клинико-морфологические особенности острых и хронических ран // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. — 2021. — Т. 19, №1. — С. 55–63.
8. Васин В.И., Ступин В.А., Корейба К.А., Ягжина В.Е., Сенина Е.Р., Селютю В.В., Силина Е.В. К вопросу об эпидемиологии и лечении острых и хронических ран // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. — 2021. — №4-2. — С. 70–74.
9. Sen C.K. Human Wound and Its Burden: Updated 2020 Compendium of Estimates // Advances Wound Care. — 2021. — Vol. 10, №5. — PP. 281–292.
10. Li S., Mohamedi A.H., Senkowsky J., Nair A., Tang L. Imaging in Chronic Wound Diagnostics // Advances Wound Care. 2020. — Vol. 9, №5. PP. 245–263.
11. Rose L.H. Text and Atlas of Wound Diagnosis and Treatment // McGraw-Hill Education. — 2015.

12. Муромцева Е.В., Сергацкий К.И., Шабров А.В., Альджабр М.Захаров А.Д. Лечение ран в зависимости от фазы раневого процесса// Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. — 2022. — №3. — С. 93–108.
13. Zhang H., Ma Y., Wang Q., Zhang X., Han L. Incidence and prevalence of pressure injuries in children patients: A systematic review and meta-analysis // Journal of Tissue Viability. — 2022. — Vol. 31, №1. — PP. 142–151.
14. Bargas-Munárriz M., Bermúdez-Pérez M., Martínez-Alonso A.M., García-Molina G., Orts-Cortés M.I. Prevention of pressure injuries in critically ill children: A preliminary evaluation // Journal of Tissue Viability. 2020. — Vol. 29, №4. PP. 310–318.
15. M. Barakat-Johnson., D. Becker., I.M. Bredesen., A.B. de Almeida Medeiros., W. Gibbons., M. Kasicki., A. Levy., C. Noonan., E. Pascall., M.M. Baharestani. Cohort study to determine the risk of pressure ulcers and developing a care bundle within a paediatric intensive care unit setting // Intensive and Critical Care Nursing. 2019. — Vol. 53. PP. 68–72.
16. LuTheryn G., Glynne-Jones P., Webb J.S., Carugo D. Ultrasound-mediated therapies for the treatment of biofilms in chronic wounds: a review of present knowledge // Microbial Biotechnology. — 2020. — Vol. 13, №3. — PP. 613–628.
17. Calis H., Sengul S., Guler Y., Karabulut Z. Non-healing wounds: Can it take different diagnosis? // International Wound Journal. — 2020. — Vol. 17, №2. — PP. 443–448.
18. Martinengo L., Olsson M., Bajpai R., Soljak M., Upton Z., Schmidtchen A., Car J., Järbrink K. Prevalence of chronic wounds in the general population: systematic review and meta-analysis of observational studies // Annals of Epidemiology. — 2019. — Vol. 29. — PP. 8–15.
19. Giuseppe G., Federico C., Matteo R., Elena B., Paolo Del Rio. The modified TIME-H scoring system, a versatile tool in wound management practice: a preliminary report // National Library of Medicine. 2024. — Vol. 92, №4. PP.
20. Melanie Lumbers. TIMERS: undertaking wound assessment in the community // National Library of Medicine. 2019. — Vol.24, Sup12. PP. S22–S25.
21. William H Tettelbach. TIMERS evolution: focus on a new categorisation and best practice related to biomaterials in tissue repair and regeneration // Journal of Wound Care. 2023. — Vol.32, Sup5.
22. Rachel Webb. Hard-to-heal wounds: TIMERS for action // Journal of Wound Care. 2019. — Vol.28, No. 3.
23. Макарошкин А.Г., Чернядьев С.А. и др. Использование низкочастотного ультразвука в лечении хирургической инфекции// Учебно-методическое пособие для врачей. Екатеринбург, УГМУ, МГМСУ. — 2020 — С. 76.
24. Митиш В.А., Пасхалова Ю.С., Муньос Санзда П., Ушаков А.А., Бланун Л.А., Борисов И.В., Магомедова С.Д. Ультразвуковая кавитация в лечении нейроишемической формы синдрома диабетической стопы при наличии биопленочных форм бактерий (обзор литературы)// Раны и раневые инфекции. Журнал им. проф. Б.М. Костюченко. — 2020. — 7(3). — С. 20–31.
25. Shanel Normandin, Tyler Safran, Sebastian Winocour, FACS, Carrie K. Chu, Joshua Vorstenbosch, Amanda M. Murphy, Peter G. Davison. Negative Pressure Wound Therapy: Mechanism of Action and Clinical Applications // National Library of Medicine. 2021. — Vol.35, №3. PP.164–170.
26. Laura De Pellegrin, Pietro Feltri, Giuseppe Filardo, Christian Candrian, Yves Harder, Ken Galetti, Marco De Monti. Effects of negative pressure wound therapy with instillation and dwell time (NPWTi-d) versus NPWT or standard of care in orthoplastic surgery: A systematic review and meta-analysis // National Library of Medicine. 2023. — Vol.20, №6. PP. 2402–2413.
27. Song Yuan, Tingjiu Zhang, Dong Zhang, Qin He, Meiting Du, Fanwei Zeng. Impact of negative pressure wound treatment on incidence of surgical site infection in varied orthopedic surgeries: A systematic review and meta-analysis // National Library of Medicine. 2023. — Vol.20, №6. PP. 2334–2345.
28. Crystal Valerie James, Munir Patel, Nicole Ilonzo, Kojo Wallace, Jani Lee, Mabel Chan, Scott Ellis, John C. Lantis II. Hydrosurgical Debridement Use Associated With Decreased Surgical Site-Related Readmissions: A Retrospective Analysis // Wound Care Learning Network. 2021. — Vol. 33, №6. PP.139–142.
29. Налбандян Р.Т., Митиш В.А., Мединский П.В. Никонов А.В. Гидрохирургическая обработка ран. // Детская хирургия. —2016. — 20(3). — С. 160–163.
30. Wei M., Yang Q., Ji H., Yu X., Qiu Y., Ji Y., Yang D. Psychometric evaluation of the Wound-QoL questionnaire to assess health-related quality of life in Chinese people with chronic wounds // International Wound Journal. — 2023. — Vol. 20, №6. — PP. 1903–1910.
31. Шулушко А.М., Османов Э.Г., Семиков В.И., Манарадз А.Д. Плазменная хирургическая технология — от истока до наших дней// Российский медицинский журнал. 2018. — 24(4). — С. 199–205.
32. Герасименко М.Ю., Зайцева Т.Н., Евстигнеева И.С. Низкотемпературная плазма -перспективный метод реабилитации // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2019. — №3. С. — 79–88.
33. Орлов А.Г., Липин А.Н., Козлов К.Л. Лечение хронических ран — взгляд через века// Кубанский научный медицинский вестник. 2016. — №5(160). — С.147–153.
34. Sanjay Marasini, Alexis Ceecee Zhang, Simon J. Dean, Simon Swift, Jennifer P. Craig. Safety and efficacy of UV application for superficial infections in humans: A systematic review and meta-analysis // ScienceDirect. 2021. — Vol.21. PP. 331–344.
35. Chenghua Song, Ruichao Wen, Jiaxuan Zhou, Xiaoyan Zeng, Zi Kou, Yufeng Li, Feng Yun, Rongqian Wu. UV C Light from a Light-Emitting Diode at 275 Nanometers Shortens Wound Healing Time in Bacterium— and Fungus-Infected Skin in Mice // National Library of Medicine. 2022. — Vol.10, №6. PP. e03424–22.
36. Suman Sen, MDS, Sheuli Sen. Therapeutic effects of hyperbaric oxygen: integrated review // National Library of Medicine. 2021. — Vol.11, №1. PP. 30–33.
37. Merrine Klakeel DO, Karen Kowalske MD. The Role of Hyperbaric Oxygen Therapy for the Treatment of Wounds // ScienceDirect. 2022. — Vol.33, №4. PP. 823–832.
38. Lalieu, Rutger C. MD, PhD; Bol Raap, René D. MD; Smit, Casper MD, PhD; Dubois, Emile F.L. MD, PhD; van Hulst, Rob A. MD, PhD. Hyperbaric Oxygen Therapy for Nonhealing Wounds—A Long-term Retrospective Cohort Study // Wolters Kluwer. Advances in Skin & Wound Care. 2023. — Vol.36, №6. PP. 304–310.
39. David N. Teguh, MD, PhD, WCC, René Bol Raap, MD, Arne Koole, MD, Bob Knippenberg, MD, PhD, Casper Smit, MD, PhD, Jan Oomen, MD, Rob A. van Hulst, MD, PhD. Hyperbaric oxygen therapy for nonhealing wounds: Treatment results of a single center // National Library of Medicine. 2021. — Vol.29, №2. PP. 254–260.
40. Винник Ю.С., Карапетян Г.Э., Якимов С.В., Сычев А.Г. Использование криогенной стимуляции в лечении хронических ран// Вестник хирургии имени И.И. Грекова. 2008. — №1. — С. 27–28.

41. Чепурная Ю.Л., Мелконян Г.Г., Гульмурадова Н.Т., Сорокин А.А. Использование высокоэнергетического лазера и фотодинамической терапии в лечении гнойных заболеваний кисти у пациентов с сахарным диабетом // Эндокринология: Новости. Мнения. Обучение. 2021. №3(36). — С. 22–30.
42. Чепурная Ю.Л. Лазерное излучение и фотодинамическая терапия в комплексном лечении гнойных заболеваний пальцев и кисти // Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. 2021.
43. Haonan Guan MD, Di Zhang MD, Xian Ma MD, Yechen Lu MD, Jiaoyun Dong MA, Yiwen Niu MD, Yingkai Liu MD, Shuliang Lu MD, PhD, Jiping Xu MD, PhD. Efficacy and safety of CO<sub>2</sub> laser in the treatment of chronic wounds: A Retrospective Matched Cohort Trial // Wiley Science Solutions. 2022. — Vol.54, №4. PP. 490–501.
44. Казарян Н.С., Козлов К.К., Быков А.Ю. Роль и способ применения протеолитических ферментов в процессе лечения гнойных ран // Омский научный вестник. 2013. — №2(124). — С. 20–21.
45. Винник Ю.С., Маркелова Н.М., Соловьева Н.С., Шишачка Е.И., Кузнецов М.Н., Зуев А.П. Современные раневые покрытия в лечении гнойных ран // Новости хирургии. 2015. — №5. — С. 552–558.
46. Kristo Nuutila, Elok Eriksson. Moist Wound Healing with Commonly Available Dressings // National Library of Medicine. 2021. — Vol.10, №12. PP. 685–698.
47. Морозов А.М., Сергеев А.Н., Сергеев Н.А., Дубатолов Г.А., Жуков С.В., Городничев К.И., Муравлянцева М.М., Сухарева Д.Д. Использование современных раневых покрытий в местном лечении ран различной этиологии // Современные проблемы науки и образования. — 2020. — № 2.
48. Григорьян А.Ю., Бежин А.И., Панкрушева Т.А., Суковатых Б.С. Современное представление о раневых покрытиях // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2022. — №11. — С.42–48.
49. Yongping Liang, Jiahui He, Baolin Guo. Functional Hydrogels as Wound Dressing to Enhance Wound Healing // National Library of Medicine. 2021. — Vol.15, №8. PP. 12687–12722.
50. Sibusiso Alven, Blessing Atim Aderibigbe. Chitosan and Cellulose-Based Hydrogels for Wound Management // National Library of Medicine. 2020. — Vol.21, №24. PP. 9656.
51. Ying Chen, Xing Wang, Sheng Tao, Qi Wang, Pan-Qin Ma, Zi-Biao Li, Yun-Long Wu, Da-Wei Li. Research advances in smart responsive-hydrogel dressings with potential clinical diabetic wound healing properties // National Library of Medicine. 2023. — Vol.10, №1. PP. 37.
52. Caihong Yang, Zhikun Zhang, Lu Gan, Lexiang Zhang, Lei Yang, Pan Wu. Application of Biomedical Microspheres in Wound Healing // National Library of Medicine. 2023. — Vol.24, №8. PP. 7319.
53. Young Hwa Lee, Hae In Park, Woo-Suk Chang, Joon Sig Choi. Triphenylphosphonium-conjugated glycol chitosan microspheres for mitochondria-targeted drug delivery // National Library of Medicine. 2021. — Vol.167. PP. 35–45.

---

© Барова Натуся Каплановна (nbarova@yandex.ru); Ескина Екатерина Николаевна (k.eskina962006@gmail.com);  
Стрюковский Андрей Евгеньевич (an-str@bk.ru); Григорова Алина Николаевна (alina.mashchenko@gmail.com);  
Едиджи Алий Аскерович (Alkes16@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## НЕФРОГЕННАЯ ФОРМА АНТИФОСФОЛИПИДНОГО СИНДРОМА

## THE NEPHROGENIC FORM OF ANTIPHOSPHOLIPID SYNDROME

**D. Berdysh**  
**T. Aceh**  
**D. Likh**  
**Z. Beslangurova**  
**G. Ilchenko**

*Summary.* Antiphospholipid syndrome (AFS) is a common autoimmune disease caused by AT, which cause the membranes of various cells of the body to alter. In modern concepts, AFS is a widespread non-inflammatory immune process based on the formation of bimodal autoantibodies in the human body in a high titer interacting with negatively charged plasma phospholipid membranes and associated proteins — glycoproteins. The main targets of AFA are negatively charged cardiolipin, phosphatidylserine, phosphatidylethanolamine, phosphatidylic acid, and of the protein components —  $\beta$ 2glycoprotein I, annexin V and prothrombin. It is also important that most studies on (ATA) Antiphospholipid antibodies are found in 2–4 % of healthy people in the circulating blood, but in women (ATA) in the blood 2–5 times more often than in men.

The purpose of the study: data analysis and identification of patterns of development of the nephrogenic form of antiphospholipid syndrome. The presence of antiphospholipid antibodies can be clinically manifested by severe kidney damage, such as thrombosis of large renal vessels, renal artery stenosis and intrarenal lesions, which lead to antiphospholipid nephropathy.

The course of the disease can range from slowly progressive nephropathy to life-threatening acute renal failure. This condition is associated with acute antibody-associated thrombotic microangiopathy of varying severity, proliferative and fibrous vascular changes. Secondary antiphospholipid syndrome in association with systemic lupus erythematosus is the most studied and widely known. At the same time, isolated antiphospholipid nephropathy remains poorly understood and requires further deeper, detailed and radical research methods. The study of the pathogenetic mechanisms of antiphospholipid syndrome has long been focused on blood clotting factors, endothelial cells and platelets. And only a few studies in recent years have shed light on additional potential therapeutic targets within the innate immune system, including the complement system and extracellular neutrophil traps. Evidence base of medicinal products etiotr.

*Keywords:* AFS, nephropathy, kidneys, thrombosis, blood vessels, systemic nature, complications, treatment, antiphospholipid antibody, KAFA.

**Бердыш Денис Сергеевич**

Преподаватель, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет»;

Ассистент, Некоммерческое образовательное частное учреждение высшего образования «Кубанский медицинский институт» г. Краснодар  
 drberdysh@bk.ru

**Ачех Тамара Варзамесовна**

Кандидат медицинских наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет»  
 a4eh.tamara@yandex.ru

**Лих Дмитрий Павлович**

Некоммерческое образовательное частное учреждение высшего образования «Кубанский медицинский институт», г. Краснодар  
 mister.likh@mail.ru

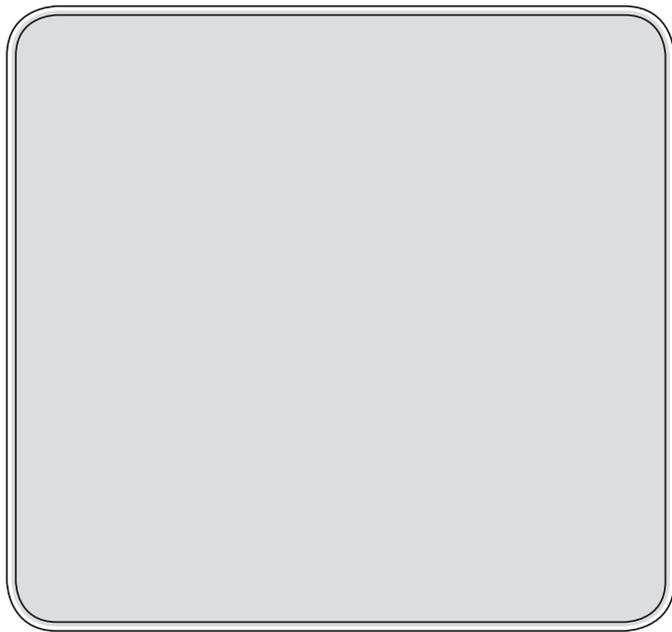
**Беслангурова Зарема Аслановна**

Кандидат медицинских наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет» г. Краснодар  
 denis.sergeevich.99@mail.ru

**Ильченко Галина Владимировна**

Кандидат исторических наук, доцент, Некоммерческое образовательное частное учреждение высшего образования «Кубанский медицинский институт» г. Краснодар  
 dlp.likh@mail.ru

*Аннотация.* Антифосфолипидный синдром (АФС) является распространенным аутоиммунным заболеванием, вызванным АТ, которые вызывают альтерацию мембран различных клеток организма. В современных представлениях АФС — это широко распространенный невоспалительный иммунный процесс, в основе которого лежит образование в организме человека в высоком титре бимодальных аутоантител, взаимодействующих с отрицательно заряженными плазмменными фосфолипидными мембранами и связанными с ними белками — гликопротеинами. Основными мишенями АФА являются несущие отрицательный заряд кардиолипин, фосфатидилсерин, фосфатидилэтанолламин, фосфатидиловая кислота, а из белковых компонентов —  $\beta$ 2гликопротеин I, аннексин V и протромбин. Так же важное значение имеет, то, что большинство исследований по (АТА) Антифосфолипидных антител имеются у 2–4 % здоровых людей в циркулирующей крови, но у женщин (АТА) в крови 2–5 раз, чаще обнаруживаются чем у мужчин. Цель исследования: анализ данных и выявление закономерностей развития нефрогенной формы антифосфолипидного синдрома. Наличие антифосфолипидных антител клинически могут проявляться тяжелыми поражениями почек, такими, как тромбоз крупных почечных сосудов, стеноз почечной артерии и внутрпочечные повреждения, которые приводят к возникновению антифосфолипидной нефропатии.



### Введение

**А**нтифосфолипидный синдром (АФС) является распространенным аутоиммунным заболеванием, вызванным антителами, которые вызывают повреждения мембран различных клеток организма. Это аутоиммунное заболевание связано с наличием в организме антифосфолипидных антител. Данный диагноз ставится, по крайней мере, одному из 2000 человек. Диагноз АФС выставляется при наличии одного клинического, и одного лабораторного критерия. АФС-антитела формируют клиническую картину тромбоза крупных почечных сосудов, стеноза почечной артерии и внутривисочечные альтерации, приводящие к формированию АФС-нефропатии. Заболевание может протекать как в виде медленно прогрессирующей формы нефропатии, так и в виде угрожающей жизни острой почечной недостаточности, связанной с острой антител-ассоциированной тромботической микроангиопатией различной степени тяжести, пролиферативными и фиброзными изменениями сосудов [1,12].

Наиболее изучен и широко известен вторичный антифосфолипидный синдром в ассоциации с системной красной волчанкой. Изучение патогенетических механизмов антифосфолипидного синдрома долгое время было ориентировано на факторы свертывания крови, эндотелиальные клетки и тромбоциты. И лишь некоторые исследования последних лет пролили свет на дополнительные потенциальные терапевтические мишени в рамках врожденной иммунной системы, включая систему комплемента и внеклеточные нейтрофильные ловушки. Доказательная база этиотропной и патогенетической терапии при АФС-нефропатиях остается достаточно ограниченной и необходимы дальнейшие более глубокие исследования [6,18].

Течение заболевания может варьировать от медленно прогрессирующей нефропатии до угрожающей жизни острой почечной недостаточности. Это состояние связано с острой антителассоциированной тромботической микроангиопатией различной степени тяжести, пролиферативными и фиброзными изменениями сосудов. Наиболее изучен и широко известен вторичный антифосфолипидный синдром в ассоциации с системной красной волчанкой. При этом изолированная антифосфолипидная нефропатия остается еще малоизученной и требует дальнейших более глубоких, детальных и радикальных методов исследования. Изучение патогенетических механизмов антифосфолипидного синдрома долгое время были ориентированы на факторы свертывания крови, эндотелиальные клетки и тромбоциты. И лишь некоторые исследования последних лет пролили свет на дополнительные потенциальные терапевтические мишени в рамках врожденной иммунной системы, включая систему комплемента и внеклеточные нейтрофильные ловушки. Доказательная база лекарственных препаратов этиотропного и патогенетического уровня лечения АФС, ограничена и требует дальнейших исследований.

*Ключевые слова:* АФС, нефропатия, почки, тромбоз, сосуды, системность, осложнения, лечение, антифосфолипидное антитело, КАФС.

Целью исследования: апробировать материал и выявить основные патогенетические звенья развития нефрогенной формы антифосфолипидного синдрома.

В числе многих исследований установлена весьма четкая корреляция между наличием Антифосфолипидных антител и генезом нефропатии. Также, известно, что волчаночный антикоагулянт (ВА) считается АТ, в большей степени связанным с АФС-нефропатией, и также имеется связь с антикардиолипиновыми антителами (АКЛ-АТ). Более того, частота поражения почек значительно выше у пациентов с тройной или двойной позитивностью по АФЛ-АТ. А Анти-β2 ГП I является наименее часто выявляемым антителом при АФС-нефропатии, но при этом, его повышенная экспрессия, как недавно было оговорено, в почечных эндотелиальных клетках пациентов с волчаночным нефритом, занимает значительное место в развитии АФС-нефропатии.

Одним из самых значимых клинических проявлений, связанных с присутствием антител к фосфолипидам является артериальная гипертензия, имеющая системный характер.

Основные проявления АФС:

- тромбоз почечной вены — имеет в себе несколько проявлений такие как, протеинурия, гематурия, нефротический синдром, тромбоз.
- стеноз или тромбоз почечной артерии — частота проявления редкая, клинической особенностью является гипертензия и снижение скорости клубочковой фильтрации (СКФ), стеноз происходит более дистально чем проксимально.
- нефропатия при первичном АФС — по распространенности 90–100 %. Клинические признаки

почти такие же, как и стеноз/тромбоз, но добавляется протеинурия, по гистологии которой можем судить о наличии хронической гиперплазии интимы, а также по формированию трубчатой атрофии и окклюзии артериол.

АГ часто встречается у пациентов с первичным Антифосфолипидным синдромом, у Антифосфолипидных-АТ позитивных к системной красной волчанке (СКВ) и у АФЛ-АТ позитивных беременных женщин. У них установлено, что АГ имеет нефрогенез, а точнее имеет внутрпочечный тромбоз сосудов, и впоследствии, с развитием гломерулярной ишемии [2,14].

Даже присутствие АФЛ-АТ, без участия АФС-синдрома ведёт к морфо-физиологическим изменениям в связи с тромбозом почечных сосудов.

Также, увеличение тромботических эпизодов наблюдается у пациентов с хронической болезнью почек (ХБП) и с наличием АФЛ-АТ. Однако позитивное АФЛ-АТ, связанное с ХБП имеет разную этиологию, если брать в сравнение всецело население, и это способствовало заинтересованности исследователей, в результате чего были сделаны и попытки оценить позитивность АФЛ-АТ при гломерулярных поражениях и изучить более детально прогноз ХБП.

Было выявлено, что гломерулосклероз, некроз клубочков и образование полулуний чаще протекает у пациентов с АФЛ-положительным результатом, а тромбоз капилляров капсулы Шумлянско-Боумана прогрессирует в гломерулярный склероз у пациентов с системной красной волчанкой (СКВ) с положительным титром к АФЛ-АТ. Также установлено, что частота тромботических явлений при наличии АФЛ-АТ значительно выше у больных с ХБП. При этом АФЛ-АТ позитивность регистрируется гораздо чаще у пациентов с ХБП любой этиологии по сравнению с другими категориями населения в целом.

Таким образом АФЛ-АТ может являться маркером неблагоприятного нефрогенеза. Установлено также, что почечный прогноз значительно ухудшается у пациентов классическими гистопатологическими поражениями [3].

Ещё одна ассоциация в нефрогенезе с АФЛ-АТ, связана с тем, что реципиент подвергался риску с АФЛ-АТ позитивностью, в связи с тем, что при трансплантации органа имел место выраженный риск раннего нарушения физиологических и функциональных возможностей почек. Также наблюдается корреляция у пациентов с высокими титрами АКЛ-АТ до трансплантации, что в дальнейшем вызывает более раннее функциональное нарушение почек, в связи с тромбозом сосудов и капилляров.

По локализации и клиническим особенностям тромбоза сосудов имеются разновидности:

- почечная вена — ОПП, гематурия, протеинурия
- ветви почечных артерии — инфаркт почки, артериальная гипертензия (АГ), острое повреждение почки
- ствол почечной артерии — реноваскулярная АГ, острое повреждение почки
- мелкие внутрпочечные артерии, артериолы, капилляры — тромботическая микроангиопатия;
- при первичном и вторичном АФС возможен венозный тромбоз, проявляющийся протеинурией, нефротическим синдромом, артериальной гипертензией и почечной недостаточностью.

Факторы агрессии, провоцирующие атеросклеротические процессы в почечных сосудах у пациентов с АФС-положительными АТ являются такие как, инфекция, беременность, хирургическое вмешательство, роды, отказ от приёма антикоагулянтов.

АФС-нефропатия — одна из главных форм поражения почек при АФС, которая имеет 90–100 % случаев у пациентов с первичным АФС, имеющих признаки, которые присущи при поражении почек.

Одна из частых симптоматических проявлений АФС с нефрогенезом — это нарушение функциональных возможностей:

- для АФС с нефрогенезом характерна почечная недостаточность, которая имеет медленно прогрессирующий характер, и ранее снижение скорости клубочковой фильтрации (СКФ);
- АГ, в частности, имеет либо умеренный, либо тяжелый характер, в связи с активацией ренин-ангиотензин-альдостероновой системы в ответ на ишемию почек, впрочем, у пациентов с катастрофическим антифосфолипидным синдромом (КАФС), вероятнее всего, будет развиваться злокачественная артериальная гипертензия (АГ) [5,11,13].
- мочевого синдром представляет собой умеренную изолированную протеинурию меньше чем 1,5 г/сут, однако, ввиду того, что подобная протеинурия нефротического диапазона проявляется при редком исключении изолированной АФС-нефропатии, эти данные должны обратить внимание врача на возможный выраженный стеноз, тромбоз почечных артерий и больших почечных сосудов или сочетанную иммунную гломерулопатию.

Катастрофический АФС (КАФС) это худший вариант развития АФС, обусловленный окклюзионным тромбозом преимущественно микроциркуляторного русла, собственно тромботической микроангиопатией (ТМА)

жизненно необходимых органов (не меньшей степени чем 3 одновременно) с дальнейшим развитием полиорганной недостаточности вплоть от нескольких часов до 7 дней.

Диагностические особенности при КАФС-это наличие в анамнезе АФС или АФС-АТ положительность в лабораторном исследовании. Также наличие тромбоза трех и более органов меньше, чем за неделю. Но на данный момент самым достоверным является гистологическая верификация биоптата, хотя детерминанты ещё четко не установлены [5, 16].

Международная классификация выделяет 2 формы АФС, как выше изложено про первичную и вторичную форму Антифосфолипидного синдрома. Первый может быть выявлен у пациентов без аутоиммунных заболеваний. Второй же напротив, влечет за собой как основное заболевание, так и АФС. То есть, признаки имеются как основного, так и самого АФС. Развитие вторичного АФС идет за счет аутоиммунных заболеваний, зачастую связанных с СКВ, инфекционных и лимфопролиферативных заболеваний. Вторичная форма АФС имеет ряд признаков следующих заболеваний: системной и дискоидной красной волчанки, системной склеродермии, ревматоидного артрита, язвенного колита, аутоиммунной тромбоцитопении, миастении, болезни Крона, а также инфекционно-иммунных заболеваний: болезни Лайма, бронхиальной астмы, ВИЧ-инфекции, стафилококковой и стрептококковой инфекции.

В 2011 году все опубликованные исследования, изучающие связь между АPL и APS-нефропатией, были идентифицированы и оценены в контексте «Целевой группы по некритериальным проявлениям APS». Группа целевой группы сообщила о более высокой частоте АФС-нефропатии у пациентов с положительной АФЛ ( $p < 0,001$ ) по сравнению с пациентами без АФЛ и при первичном АФС по сравнению с СКВ-АФС и с СКВ с положительной АФЛ, но без АФС. Специфичность, положительная прогностическая ценность и отрицательная прогностическая ценность АФС-нефропатии для выявления АФС составили 96, 85 и 87 соответственно. Несколько лет спустя другая группа целевой группы оценила значимость некритериальных клинических проявлений АФС в соответствии с системой GRADE для обоснования их включения в критерии классификации АФС. Общее качество доказательств было «очень низким» или «низкопробным» для большинства некритериальных проявлений, но «умеренным» для APS-нефропатии [6,17,18].

Показано, что АPL мыши и АPL человека изотипа IgG могут вызывать гистологические поражения клубочков, характерные для тромботической микроангиопатии у мышей. Они также обнаружили повышенное отложение фибрина, тканевого фактора и С3 в клубочках мышей,

получавших аPL мыши и человека, что подтверждает их роль в патогенезе тромботической микроангиопатии.

Нефропатия с антифосфолипидным синдромом также характеризуется рядом хронических поражений, наиболее распространенной из которых является фиброзная гиперплазия интимы. Недавнее исследование у пациентов с АФС показало активацию пути mTORC в реноваскулярном эндотелии, приводящую к гиперплазии интимы. Сосудистая активация mTORC также была продемонстрирована на аутопсиях в серии случаев катастрофического APS.

После изучения 16 биопсий почек у пациентов с первичным АФС, Nochy и соавт., предположили, что для постановки диагноза АФС-нефропатии необходимо выявить по крайней мере одно из следующих поражений: тромботическую микроангиопатию (острое поражение), междольковую фиброзную гиперплазию интимы, артериальные и артериолярные реканализирующие тромбы, фиброзную артериальную окклюзию и фокальную кортикальную атрофию.

Тромбоз почечных сосудов может быть артериальным или венозным. Тромботическая микроангиопатия приводит к фиброзу, тиреоидизации канальцев, фокальной атрофии коры и клубочковому склерозу.

Наиболее часто, по данным многих авторов, регистрируется мембранозный гломерулонефрит [7,19,20].

Таким образом, поражение почек при АФС представляет собой обширное и сложное множество синдромов, являющихся следствием сосудистой дисфункции и нарушением коагулирующих свойств крови.

Отмечено также, что при проведении антикоагулянтной терапии варфарином с поддержанием средне-интенсивного уровня гипокоагуляции при значениях МНО (2,0–3,0) и даже высокого уровня (выше 3,0) у некоторых больных отмечаются рецидивы тромбозов.

В рекомендациях, сформулированных экспертами 13-го Международного Конгресса по АФЛ подобным больным альтернативой длительного приёма варфарина, предлагаются низкомолекулярные гепарины. В одном из исследований было показано, что больные, получавшие длительно подобную терапию, не имели рецидива тромбоза. В тоже время все антикоагулянты, используемые многие годы, имеют ряд побочных действий и далеки от «идеальных» антикоагулянтов. Предполагается, что новые антикоагулянты с селективной точкой приложения на факторы свёртывания будут более эффективными и безопасными по сравнению с гепаринами и варфарином. Эти новые препараты в настоящее время одобренные или, находящиеся в испытании, для лече-

ния и профилактики венозного тромбоемболизма действуют непосредственно на активный участок тромбина (прямой ингибитор тромбина) — дабигатран этемзилат, и прямые ингибиторы фактора Ха: ривароксабан, апиксабан, эндоксабан и бетриксабан.

Проведение рандомизированных контролируемых исследований по лечению АФС этими препаратами экспертами считается целесообразным. Подключение в лечение подобных больных с АФС гидроксихлорохина и статинов также считается оправданным.

На сегодняшний день, к сожалению, первичной профилактики антифосфолипидного синдрома не существует. Снизить риск сердечно-сосудистых осложнений, невынашивания беременности и других осложнений позволяет своевременное обнаружение у пациентов с АФС контролируемых и неконтролируемых факторов риска [8,16,12].

К контролируемым факторам относятся:

- стойкое повышение артериального давления;
- высокий уровень холестерина;
- малоподвижный образ жизни;
- курение;
- беременность;
- приём противозачаточных препаратов и гормональная заместительная терапия;
- активность системной красной волчанки;
- длительные инфекции;
- продолжительная иммобилизация;
- операции;
- стресс;
- повышение уровня гомоцистеина и уменьшение количества тромбоцитов (тром);

Неконтролируемые факторы:

- пожилой возраст;
- стойкое и одновременное повышение волчаночного антикоагулянта, антител к кардиолипину и бета-2-гликопротеину-1, что повышает риск тромбозов;
- ранее перенесённые тромбозы;
- поражение клапанов сердца;

- атеросклероз;
- нарушения свёртывающей системы крови (дефицит антитромбина III, мутация генов коагуляционного фактора V (фактора Лейдена) и протромбина II, снижение протеинов C и S, повышение уровня фибриногена) [9].

При нескольких из перечисленных факторов увеличивается риск развития или повторения сосудистых осложнений. Ухудшает течение АФС сочетание с системной красной волчанкой, тромбоцитопенией, стойкой артериальной гипертензией, быстрым нарастанием и высоким уровнем антител к кардиолипину.

На сегодняшний день степень поражения почек при АФЛ остается недооцененной. В первую очередь это связано с тем, что при АФС в начале заболевания отсутствуют клинические проявления, так как поражение фильтрационного аппарата почек развивается постепенно, здоровая почечная ткань берет на себя дополнительный объем работы пораженных структур. Но в дальнейшем развивается постепенное, медленное поражение фильтрационных структур почек, тогда, как при СКВ наблюдается стремительное, прогрессирующее развитие патологического процесса. Проводя гистологическую верификацию биоптатов почек, отмечается, что специфическим характерным признаком является присутствие гломерулярной ТМА, которая тесно коррелируется с циркулирующими АФЛ-АТ. Также необходимо заметить, что данная патология наблюдается у людей с высокой степенью активации сосудисто-тромбоцитарного гемостаза и активации факторов свертывания крови, в преимущественном значении которых играет протромбин и фибриноген, приводящие к внутрисосудистым тромбозам. Контроль АФЛ-АТ необходимо чаще проводить у пациентов со стенозом почечной артерии в анамнезе и при наличии других хронических и аутоиммунных заболеваний.

Из-за недостаточности лечебной доказательной базы, в дальнейшем представляется необходимым проведение ряда исследований по изучению влияния антикоагулянтов, ГКС, цитостатиков и других мероприятий по лечению АФС [10,23,24].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Макаренко Е.В. Антифосфолипидный синдром // Проблемы здоровья и экологии. — 2017. — С. 4–11.
2. Морова Н.А. / Цеханович В.Н. / Сафронова Е.В. Первичный антифосфолипидный синдром // Байкальский медицинский журнал. — 2014. — С. 125–127.
3. А.А. Клименко / Н.А. Шостак / А.С. Гаффарова. Стратегии антикоагулянтной терапии при различных клинических вариантах антифосфолипидного синдрома // Клиницист — 2024. — С. 78–86.
4. Ишкараева В.В. / Зазерская И.Е. / Осипова Н.А. / Якубов А.В. / Маркина В.А. Спорные вопросы ведения пациенток с HELLP-синдромом // Доктор.Ру — 2024 — Т. 2. — № 2. — С. 55–59.
5. Богдасарова Ю.С. / Зайнулина М.С. Частота плацента-ассоциированных осложнений при различных алгоритмах профилактики в случае циркуляции антифосфолипидных антител и при антифосфолипидном синдроме // Бюллетень медицинской науки. — 2022 — С. 5–15.
6. Чельдиева Ф.А. / Решетняк Т.М. / Шумилова А.А. / Нурбаева К.С. / Черкасова М.В. / Лила А.М. / Носонов Е.Л. Общий индекс антифосфолипидного синдрома (GAPSS) у пациентов с системной красной волчанкой // Научно-практическая ревматология. — 2022 — С. 546–553.

7. Макацария А.Д. / Бицадзе В.О. / Хизроева Д.Х. Катастрофический антифосфолипидный синдром и тромботический шторм // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. — 2010 — Т. 25. № 4. С. 118–122.
8. Полушин Ю.С. / Гаврилова Е.Г. / Шлык И.В. / Лапин С.В. / Ткаченко О.Ю. Катастрофический антифосфолипидный синдром при Covid-19 // Вестник анестезиологии и реаниматологии. — 2021 — С. 17–25.
9. Насонов Е.Л. / Решетняк Т.М. / Соловьев С.К. / Попкова Т.В. Системная красная волчанка и антифосфолипидный синдром: вчера, сегодня, завтра // Терапевтический архив. — 2023 — С. 365–373.
10. Орипова М.М. / Ахмаджанова Г.М. Прогнозирование исходов беременности у женщин с антифосфолипидным синдромом зависимости от срока гестации // Экономика и социум. — 2022 — С. 639–642.
11. Khamashta M. / Taraborelli M. / Sciascia S. / Tincani A. Antiphospholipid syndrome // Best Pract Res Clin Rheumatol. — 2016. — № 1. — P. 133–148.
12. Решетняк Т.М. / Вавилова Т.В. Клинико-лабораторные критерии антифосфолипидного синдрома — что нужно знать практическому врачу (лекция) // Клиническая лабораторная диагностика. — 2010. — № 11. — С. 13–20.
13. Ruiz-Irastorza G. / Khamashta M.A. / Hughes G.R.V. Antiagregant and anticoagulant therapy in systemic lupus erythematosus and Hughes dyndrome // Lupus. — 2001. — № 3. — P. 241–245. ссылка
14. Алекберова З.С. / Насонов Е.Л. / Решетняк Т.М. / Раденска-Лоповок С.Г. Антифосфолипидный синдром: 15 лет изучения в России. Избранные лекции по клинической ревматологии. // — М.: Медицина, 2001. — С. 132–148.
15. Levine J. / Branch D.W. / Rauch J. The antiphospholipid syndrome // N Engl J Med. — 2002. — № 10. — P. 752–763.
16. Gullapalli K. / Prasad R.M. / Al-Abcha A et al. Efficacy and Safety of Direct Oral Anticoagulants in Patients With Antiphospholipid Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis // Cureus. — 2022. — № 9.
17. Сапецчи М. / Abbattista M. / Ciavarella A. et al. Anticoagulant Therapy in Patients with Antiphospholipid Syndrome // J Clin Med. — 2022. — № 23. ссылка
18. Zhang J. / Li C. / Han X. et al. The digestive system involvement of antiphospholipid syndrome: pathophysiology, clinical characteristics, and treatment strategies // Ann Med. — 2021. — № 1. — P. 1328–1339. Ссылка
19. Решетняк Т.М. // Consilium medicum. — 2006. — Т. 8, N 2. — С. 25–29.
20. Rai R. / Swetha T. Association of anti-phospholipid antibodies with connective tissue diseases // Indian Dermatol Online J. — 2015. — № 2. — P. 89–91.
21. Andreoli L. / Chighizola C.B. / Banzato A. et al. Estimated frequency of antiphospholipid antibodies in patients with pregnancy morbidity, stroke, myocardial infarction, and deep vein thrombosis: a critical review of the literature // Arthritis Care Res (Hoboken). — 2013. — № 11. — P. 1869–1873. Ссылка
22. Biggioggero M. / Meroni P.L. The geoepidemiology of the antiphospholipid antibody syndrome // Autoimmun Rev. — 2010. — № 5. — P. 299–304. ссылка
23. Crowther M.A. / Ginsberg J.S. / Julian J, et al. A comparison of two intensities of warfarin for the prevention of recurrent thrombosis in patients with the antiphospholipid antibody syndrome. N. Engl. J. Med. 2003,349,1133–1138
24. Antiphospholipid Syndrome: Insights and Highlights from the 13th International Congress on Antiphospholipid Antibodies D. Erkan and S.S. Pierangeli (eds.), DOI 10.1007/978-1-4614-3194-7\_17, © Springer Science+Business Media New York 2012.

---

© Бердыш Денис Сергеевич (drberdysh@bk.ru); Ачех Тамара Варзамесовна (a4eh.tamara@yandex.ru);  
Лих Дмитрий Павлович (mister.likh@mail.ru); Беслангурова Зарема Аслановна (denis.sergeevich.99@mail.ru);  
Ильченко Галина Владимировна (dlp.likh@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МИОКАРДИАЛЬНЫЕ МОСТИКИ: ОТ ДИАГНОСТИКИ К ХИРУРГИЧЕСКОМУ ЛЕЧЕНИЮ

## MYOCARDIAL BRIDGES: FROM DIAGNOSIS TO TREATMENT

**A. Bochkarev  
M. Novikov  
N. Sheverdin  
K. Toropov (Grigoryan)  
A. Kurskova**

**Summary.** Myocardial bridging (MM) is a common anomaly of the coronary tree; very often it is not clinically manifested. Typically the artery involved is the left anterior descending artery at its proximal and/or midportion. MM can cause ischemia through various mechanisms directly proportional to the degree of compression of the intramyocardial tract, which impairs coronary blood flow. MM, when symptomatic, often begins with exertional angina, with some patients experiencing more severe conditions such as unstable angina or myocardial infarction. Diagnostic testing includes non-invasive and invasive testing methods. In symptomatic cases, drug therapy with beta blockers, calcium receptor antagonists, and ivabradine is sufficient to treat angina. If this method is ineffective, PCI, CABG, or myomectomy are performed.

**Objective:** To review the literature on the pathogenesis, diagnosis, treatment and monitoring of patients with myocardial bridges.

**Materials and methods:** open sources from PubMed, Cochrane Library databases, Elibrary.

**Keywords:** myocardial bridge, intravascular ultrasound, optical coherence tomography, tunneled coronary artery.

**Бочкарёв Алексей Борисович**  
к.м.н., Орловский государственный  
университет им. И.С. Тургенева  
3vvykufzg8xd@mail.ru

**Новиков Максим Сергеевич**  
к.м.н., Орловский государственный  
университет им. И.С. Тургенева  
doc.mah013@mail.ru

**Шевурдин Николай Николаевич**  
к.м.н., Орловский государственный  
университет им. И.С. Тургенева  
nsheverdin81@mail.ru

**Торопов (Григорян) Ксения Арсенова**  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный  
университет им. И.С. Тургенева»  
grigoryan.ksenia@gmail.com

**Курскова Анастасия Игоревна**  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный  
университет им. И.С. Тургенева»  
anastasiakur-skova7@gmail.com

**Аннотация.** Миокардиальный мостик (ММ) является распространенной аномалией коронарных артерий, часто протекающая бессимптомно. Обычно вовлеченной артерией является левая передняя нисходящая артерия в ее проксимальной и/или средней части. ММ может вызывать ишемию с различными механизмами, прямо пропорциональными степени компрессии интрамиокардиального тракта, что нарушает коронарный кровоток. ММ, когда он симптоматичный, часто начинается со стенокардии напряжения, у некоторых пациентов наблюдаются более тяжелые состояния, такие как нестабильная стенокардия или инфаркт миокарда. Диагностическое обследование включает неинвазивное и инвазивные методы исследования. В симптоматических случаях для лечения стенокардии достаточно медикаментозной терапии бета-блокаторами, антагонистами кальциевых рецепторов, ивабрадином. При неэффективности этого метода проводится ЧКВ, АКШ, миоэктомия.

**Цель:** провести обзор литературы, посвященной патогенезу, диагностике, лечению и наблюдению за пациентами с миокардиальными мостиками.

**Материалы и методы:** открытые источники из баз данных PubMed, Cochrane Library, Elibrary.

**Ключевые слова:** миокардиальный мостик, внутрисосудистое УЗИ, оптическая когерентная томография, туннелированная коронарная артерия.

## Введение

Артериальная система человека обладает выраженной анатомической изменчивостью [1]. Вариативность магистральных артерий шеи бывает ассоциирована с изменениями в коронарном бассейне [2]. Кроме вариативности хода сосудов важное влияние могут оказывать различные экстравазальные факторы

[3, 4, 5]. В коронарном бассейне эта особенность находит отражение в миокардиальных мостиках (ММ). Миокардиальный мостик — это распространенная аномалия, как правило, доброкачественная, характеризующаяся наличием миокардиальных волокон (собственно мостика), которые проходят над эпикардиальной коронарной артерией, чей путь под мышечными волокнами называется интрамиокардиальным или туннелированным.

В последнее время ММ все чаще диагностируют из-за распространенности все более совершенных методов визуализации — ММ обнаруживается при коронарной ангиографии.

### Эпидемиология

ММ является очень распространенной аномалией, которая обнаруживается в более чем 30 % населения на основании патологоанатомических исследований, которые являются самым чувствительным методом в подтверждении ММ [6]. Аутопсия считается «золотым стандартом» визуализации ММ, достигая частоты выявления аномалии в 42 % случаев. Согласно данным, полученным посредством проведения КТ ангиографии, которая имеет хорошую чувствительность, распространенность ММ составляет около 20 %. [7] Коронарная ангиография имеет гораздо более низкую чувствительность и позволяет выявить ММ всего у 2–6 % обследованных пациентов [8].

### Патофизиология

Коронарная артерия обычно располагается между перикардом и эпикардом. ММ может возникнуть в любой ветви коронарной артерии, но частым местом являются проксимальный и средний сегменты левой передней нисходящей ветви (67–98 %), что с большей вероятностью будет находить отражение в клинике [9]. Количество миокардиальных волокон, проходящих над артерией, позволяет различать поверхностный (1–2 мм миокарда), глубокий (>2 мм миокарда) мост и очень глубокий (более 5 мм). По мере погружения коронарной артерии в миокард обычно проявляется более выраженная клиническая симптоматика, так как глубина прохождения сосуда пропорциональна его сжатию, оказываемому в систолу. Поэтому поверхностные мостики, как правило, бессимптомны.

ММ исторически считается доброкачественным образованием, поскольку кровоснабжение миокарда происходит в диастолу, в то время как сжатие миокардиальных волокон с изменением потока в туннелированном тракте происходит в систолу. Однако во время физической активности и увеличения частоты сердечных сокращений, усиливается компрессия, оказываемая на интрамиокардиальный тракт, при этом замедляя быструю протодиастолическую фазу коронарного потока. Также сокращается относительное время самой диастолы, увеличивая вероятность возникновения ишемии. Чем длиннее интрамиокардиальный тракт, тем больше вероятность развития ишемии коллатералей, выходящих из пораженного сегмента (механизм «обкрадывания»), так как ускоренный поток крови, проходящий в туннелизированной части сосуда, приводит к падению давления в коллатеральных ветвях из-за эффекта Вентури. Это яв-

ление объясняет ишемию перегородки даже при наличии нормальной перфузии дистальных отделов левого переднего нисходящего отдела (верхушки сердца) [10].

Следует также учитывать возможность спонтанного расслоения коронарных артерий — редкого события, которое может возникнуть из-за нагрузки на интиму туннельного тракта [11].

Несколько гипотез предполагали, что ММ связаны с атеросклерозом. Это связано с уменьшением сдвигового напряжения (напряжение, создаваемое на стенках сосудов потоком крови), которое способствует эндотелиальной дисфункции и атеросклерозу. Систолическое прерывание потока изменяет его ламинарность, уменьшая сдвиговое напряжение выше по течению от туннелированного участка. Напротив, сдвиговое напряжение больше на интрамиокардиальном сегменте из-за увеличенных скоростей потока.

Также относительная удаленность туннелизированной коронарной артерии от эпикардиальной жировой ткани снижает поступление провоспалительных сигналов и клеток, участвующих в атеросклерозе, увеличить местный клиренс лейкоцитов [12].

В противовес противоатеросклеротическим гипотезам существуют теории, которые освещают проатеросклеротический эффект ММ. Во время систолы происходит ретроградный, измененный прямой поток крови (выше туннеля), который создает турбулентность, вызывает чрезмерную механическую силу и приводит к повреждению, которое может предрасполагать к расслоению сосуда [13].

Таким образом, наличие МБ может способствовать атеросклерозу в тракте непосредственно выше по течению от интрамиокардиального сегмента, в то время как последний будет интактен [14]. Частота развития бляшки в туннелированном сегменте артерии низкая [15]. Это явление можно объяснить следующим: во-первых, ММ приводит к отделению коронарной артерии от периваскулярной жировой ткани в эпикарде, что со снижением локального действия провоспалительных факторов. Во-вторых, при проведении оптической когерентной томографии выявлено отсутствие адвентициальных *vasa vasorum*, которые обычно функционируют как каналы для диффузии воспалительных клеток и цитокинов из периваскулярной жировой ткани. В-третьих, сжатие туннелированной артерии может улучшить лимфатический дренаж. Наконец, туннелированный сегмент испытывает повышенное или физиологически значимое напряжение сдвига стенки из-за повышенных скоростей, фактор, связанный с риском развития атеросклероза.

Несколько исследований сообщили о концентрическом утолщении интимы ниже мостиковых сосудов [16].

Появление симптомов ишемии миокарда у ранее бессимптомных пациентов объясняется и другими механизмами. Вазоспазм (временное сужение коронарных артерий) приводит к снижению притока крови к сердечной мышце. Точный механизм данного явления в настоящее время активно изучается и включает несколько факторов. Эндотелиальная дисфункция, при которой внутренняя оболочка кровеносных сосудов не вырабатывает достаточное количество сосудорасширяющих веществ, может способствовать усилению вазоконстрикции. Гиперреактивность гладкомышечных клеток в стенках артерий может провоцировать внезапное и интенсивное сужение. Дисбаланс в работе вегетативной нервной системы, которая контролирует тонус кровеносных сосудов, может вызвать чрезмерную вазоконстрикцию. Определенные вещества, выделяемые в стенках артерий, такие как эндотелин-1 и тромбоксан А2, обладают вазоконстрикторными свойствами. Гиперчувствительность коронарных артерий к различным стимулам, таким как стресс или определенные препараты, также может сопровождаться ангиоспазмом.

Появление клиники при ММ обусловлено также появлением обструктивного атеросклероза в сегменте выше ММ, который приводит к падению давления дистальнее. Развившаяся гипертрофия левого желудочка приводит к повышению потребности миокарда в кислороде, снижая резерв его микроциркуляции.

### Клиническая картина

Как упоминалось ранее, ММ является анатомическим вариантом и может не проявляться клинически. При сравнении групп пациентов с ММ и без них, лица с ММ и с клиникой острого коронарного синдрома были моложе, больше курили и имели более низкую распространенность классических факторов риска развития атеросклероза [17]. Электрокардиограмма обычно соответствовала норме среди бессимптомных пациентов, отмечались редкие случаи нарушения реполяризации, особенно во время стресс-тестов [18]. Редко ММ ассоциируется с острым коронарным синдромом, связанным с вазоспазмом или атеросклерозом проксимальнее туннельного тракта. Однако большинство людей с ОКС, связанным с ММ страдают нестабильной стенокардией (тропонин-отрицательной), без признаков перенесенного инфаркта миокарда. Это может быть связано с эпизодами вазоспазма, что объясняет высокую распространенность этих симптомов среди курильщиков с ММ.

### Диагностика

Миокардиальные мостики стали предметом интереса с момента их первого обнаружения в 1960-х годах после внедрения инвазивной коронарной ангиографии. Со временем для диагностики миокардиальных мости-

ков стали использоваться многочисленные инвазивные и неинвазивные методы. Тем не менее, до настоящего времени не существует определенного золотого стандарта, и отмечаются различия в диагностической точности каждого из методов [19].

Первоначальная классификация ММ основывалась на результатах инвазивной ангиографии сердца, основанной на изменении диаметра между диастолой и систолой, называемом «эффектом доения». Но с внедрением все новых методов стало возможным выявление туннелей [20].

Неинвазивные методы включают КТ ангиографию, КТ фракционного резерва кровотока, стресс-трансторакальную эхокардиографию, стресс-перфузионную визуализацию миокарда.

Классическим критерием ММ на КТ ангиографии является уменьшение просвета сосуда не менее чем на 70 % в систолу (в некоторых источниках на 50 %) с сохранением компрессии >35 % в мезотеледиастолу [21]. Чувствительность метода небольшая, но использование интракоронарных нитратов увеличивает степень систолической компрессии, тем самым повышая чувствительность исследования. Также КТ ангиография позволяет классифицировать коронарные артерии как эпикардальные (нормальные), поверхностные (1,0–2,0 мм), глубокие (от 2,0 до 5,0 мм) и очень глубокие.

Диагноз может быть подтвержден инвазивной визуализацией, такой как внутрисосудистое ультразвуковое исследование или оптическая когерентная томография. Метод позволяет точно оценить степень сжатия, оказываемого ММ, измерить минимальную площадь просвета артерии и обеспечивает патогномичное изображение «полумесяца», гиперэхогенной дуги, которая частично окружает коронарную артерию и обусловлена миокардиальными волокнами, покрывающими сам просвет [22].

Оптическая когерентная томография использует принципы ультрасонографии, но использует световые импульсы проходящие через объекты, воспринимая инфракрасные волны при создании изображений [23]. Она имеет разрешение в десять раз больше, чем внутрисосудистое УЗИ, и может обнаруживать проксимальные атеросклеротические бляшки. Диагностическим критерием является веретенообразный контур, ослабленный систолической компрессией.

КТ ангиография, оптическая когерентная томография, внутрисосудистое УЗИ не могут дать информацию о степени ишемии, обусловленной ММ. С этой целью применяют КТ фракционного резерва кровотока (основан на измерении градиент потока проксимально и дистально к фиксированной обструкции во время максимально-

го потока (гиперемического), стресс-трансторакальную эхокардиографию (выявляет обратимые гипокинетические изменения движения стенки, связанных с гипоперфузией), стресс-перфузионную визуализацию миокарда, где соотносятся симптомы ишемии со степенью сужения коронарных сосудов и дефектами перфузии. Следует отметить, что использование проб с нитратами, аденозином и добутамином может облегчить диагностику, воспроизводя гемодинамическое состояние, похожее на физиологический стресс, выявляя значительные диастолические градиенты, обнаруживаемые с помощью направляющих давления [24].

Тест на провокацию ангиоспазма — это диагностическая процедура, используемая для оценки влияния миокардиального мостика на тонус коронарных артерий. Вещество, вызывающее спазм, к примеру, ацетилхолин или эргонолин, вводится в коронарные артерии при катетеризации. При этом отслеживаются изменения кровотока и клиническая симптоматика. Тест помогает определить, вызывает ли туннелированный сегмент коронарной артерии в миокардиальном мостике значимое сужение и снижает ли кровотоки во время систолы, что приводит к появлению боли в груди [25].

### Лечение

При выборе терапевтического подхода к лечению миокардиальных мостиков следует учитывать несколько факторов: наличие и тяжесть симптомов, анатомию сердца, включая характеристики вовлечённых сосудов, и возможные осложнения, особенно при рассмотрении инвазивных вариантов. Ключевым является наличие или отсутствие симптомов стенокардии или эквивалента ишемии.

Зачастую при залегании артерий менее 2 мм от эпикарда симптомы ишемии не возникают. В данном случае рекомендована модификация образа жизни, устранение факторов риска ССЗ, отказ от курения, антиагрегантная терапия при наличии сопутствующих сердечно-сосудистых заболеваниях.

При обнаружении симптоматических ММ, залегающих глубже 2 мм и длиной более 2,5 см требуется более комплексная терапия. Организационный комитет по кардиологии для спортивной фитнес-программы (COCIS) в редакции 2017 года советуют быть осторожными в отношении пациентов с обнаружением ММ по результатам КТ ангиографии, где туннелированный сосуд длиной более 10 мм и глубиной более 3 мм. Но при отсутствии симптомов и если SPECT не документирует индуцируемую ишемию (или отрицательный FFR при коронарной ангиографии), нет противопоказаний даже к напряженной агонистической активности. Также рекомендовано ежегодное обследование, так как существует вероятность, что ишемия появится спустя годы.

Важно различать пациентов с ОКС с и без ММ, необходимо оценить роль ММ и исключить местные осложнения, такие как расслоения и вазоспазм. Если их не диагностировать и оставить без лечения, то возрастает риск смертельных случаев среди этих пациентов, особенно с нестабильным течением стенокардии. Следует отметить, что пока четкой взаимосвязи между ММ и риском внезапной смерти не выявлено.

При наличии клинической симптоматики проводится рациональная фармакотерапия. К первой линии терапии относятся бета-блокаторы, которые способны снижать инотропизм (тем самым уменьшая компрессию туннелированного тракта), увеличивать время диастолического наполнения (за счет снижения ЧСС), снижать симпатический тонус. При наличии противопоказаний к бета-блокаторам (риск бронхоспазма) и наличии вазоспазма этим пациентам рекомендованы недигидропиридиновые блокаторы кальциевых каналов, ивабрадин [26]. Нитраты следует использовать с осторожностью, поскольку они могут ухудшить перфузию из-за падения давления в коронарных сосудах, прилегающих к ММ, увеличить ретроградный поток, вызывать рефлекторную тахикардию. Антиагреганты с целью профилактики назначаются при наличии сопутствующих ССЗ.

Важная роль отводится коррекции факторов риска атеросклероза, особенно среди курильщиков. Отказ от курения важен даже для бессимптомных пациентов, из-за повышенного риска атеросклероза и вазоспазма, которые могут быть связаны с наличием ММ [27].

При неэффективности консервативного лечения проводится коронарная ангиопластика (малоинвазивное чрескожное коронарное вмешательство) или оперативное лечение на открытом сердце. Имплантация стента с лекарственным покрытием в туннелируемый сегмент препятствует систолической компрессии интрамиокардиального тракта. Однако частота неудач и повторных операций после установки стента выше, чем установка стента при атеросклерозе [28]. Классические осложнения, такие как тромбоз и рестеноз, могут быть обусловлены силами сжатия, которые оказываются на сам стент, и риском неправильного положения, связанного с коронарной артерией без атеросклеротической патологии и/или с выраженной вазореактивностью, что может привести к недооценке его реального калибра.

Хирургическая реваскуляризация (АКШ) является альтернативой ЧКВ. Однако использование артериального трансплантата, как правило, левой внутренней грудной артерии, для обхода мостиков, отягощено очень высокой частотой осложнений и длительным периодом реабилитации. Предполагаемый механизм заключается в конкурентном потоке, идущем от собственной артерии, который мешает проходимости артериального

трансплантата [29]. Из-за повышенной частоты реваскуляризации в течение первого года после стентирования, хирургическое лечение (удаление коронарной артерии с коронарным шунтированием) предпочтительнее [30].

Еще одним способом оперативного лечения является миэктомия самого мостика. Операция направлена на восстановление нормальной анатомии. Не рекомендуется для особенно глубоких (>5 мм) и длинных (>25 мм) мостов [31].

### Выводы

Миокардиальные мостики это широко распространенная, в основном доброкачественная патология, которая встречается у каждого третьего человека. При непродолжительном и неглубоком залегании коронарной артерии в миокарде симптомы ишемии зачастую не возникают, а пациент может быть переносить изнурительные кардиотренировки. Однако с течением времени существует риск развития атеросклероза и стенокардии, обусловленной вазоспазмом, что требует периоди-

ческого обследования у кардиолога. Для диагностики применяются КТ ангиография, внутрисосудистое УЗИ, оптическая когерентная томография, КТ фракционного резерва кровотока, МРТ сердца, контрастная стресс-эхокардиография и др., которые помогают выявить тунелированный участок коронарной артерии и оценить степень нарушения перфузии. Бессимптомное лечение требует модификации образа жизни, а также отказа от курения, как одного из факторов, приводящих к вазоспазму и провоцирующего развитие атеросклероза.

Лечение ММ в первую очередь направлено на облегчение симптомов, уменьшение ишемии миокарда и предотвращение неблагоприятных исходов. Лекарственные препараты эффективны в более легких случаях. Фармакотерапия предполагает прием бета-блокаторов, антагонистов кальциевых каналов. Прием нитратов резко ограничен, так они усугубляют симптомы ишемии. Хирургическое лечение применяется только при рефрактерности к медикаментозной терапии. АКШ предпочтительнее ЧКВ и миэктомии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мошкин А.С. Ультразвуковая оценка вариантов расположения бедренной артерии и вены в хирургической практике. Вестник экспериментальной и клинической хирургии. 2019;12(3):158–61. doi: 10.18499/2070-478X-2019-12-3-158-161
2. Moshkin AS, Khalilov MA, Shmeleva SV, Bonkalo TI, Aralova EV, Rybakova AI, Shchadilova IS. [The organization or personified treatment of diseases of coronary arteries considering analysis of bifurcation modifications]. Probl Sotsialnoi Gig Zdravookhraneniia i Istor Med. 2021 Jul;29(4):951–956. Russian. doi: 10.32687/0869-866X-2021-29-4-951-956. PMID: 34486864.
3. Nikolenko V.N., Moshkin A.S., Khalilov M.A. Analysis of hemodynamic changes in vertebral arteries and veins during functional tests with ultrasound monitoring // Science and Innovations in Medicine. — 2023. — Т. 8. — №3. — С. 159. doi: 10.35693/2500-1388-2023-8-3-159-164.
4. Бочкарёв, А.Б. и др. Оценка гемодинамических показателей на основе результатов ультразвуковой доплерографии при различных вариантах положения сосудов в области бифуркации общих сонных артерий / А.Б. Бочкарёв, Ч. Ли, А.С. Мошкин, В.Н. Николенко, М.А. Халилов // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. — 2024. — № 2. — С.15–23. Doi: 10.24884/1682-6655-2024-23-2-15-23.
5. Мошкин, А.С. Оценка взаимосвязи характера хода позвоночных артерий и вен с морфометрическими и гемодинамическими показателями по результатам ультразвуковых исследований / А.С. Мошкин // Наука молодых. — 2024. — № 2. — С.229–242. Doi: 10.23888/HMJ2024122229-242. [Электронный ресурс]. — URL: <https://doi.org/10.23888/HMJ2024122229-242>.
6. Hostiuc S, Negoii I, Rusu MC, Hostiuc M. Myocardial Bridging: A Meta-Analysis of Prevalence. J Forensic Sci. 2018 Jul;63(4):1176–1185. doi: 10.1111/1556-4029.13665. Epub 2017 Oct 16. PMID: 29044562.
7. Zerbo S, Lanzarone A, Raimondi M, Martino L, Malta G, Cappello F, Argo A. Myocardial bridge pathology and preventable accidents during physical activity of healthy subjects: A case report and a literature review. Med Leg J. 2020 Dec;88(4):209–214. doi: 10.1177/0025817220923638. Epub 2020 May 21. PMID: 32437236.
8. Adhikari S, Mainali A, Aryal B, Bista PB, Devkota S, Gousy N, Chowdhury T, Dufresne A. Myocardial Bridging: Two Different Clinical Presentations in Young Males Involving Left Anterior Descending Coronary Artery. Cureus. 2022 Jun 20;14(6):e26134. doi: 10.7759/cureus.26134. PMID: 35891825; PMCID: PMC9303840.
9. Zhang D, Tian X, Li MY, Zhang HW, Yu Y, Pan T, Li CY. Quantitative analysis of the relationship between the myocardial bridge and the FAI of pericoronary fat on computed tomography. Sci Rep. 2024 Mar 12;14(1):5976. doi: 10.1038/s41598-024-55005-9. PMID: 38472256; PMCID: PMC10933414.
10. Lucena JD, Brito HM, Sanders JVS, Cavalcante JB, Collyer MC, Leite CL, Silveira HFD, Ferreira Filho JCC. Incidence and Morphological Study of Myocardial Bridge in the State of Ceará: A Cadaveric Study. Arq Bras Cardiol. 2023 Jun;120(7):e20220460. English, Portuguese. doi: 10.36660/abc.20220460. PMID: 37466617; PMCID: PMC10365010.
11. Rinaldi R, Princi G, La Vecchia G, Bonanni A, Chiariello GA, Candreva A, Gragnano F, Calabrò P, Crea F, Montone RA. MINOCA Associated with a Myocardial Bridge: Pathogenesis, Diagnosis and Treatment. J Clin Med. 2023 May 31;12(11):3799. doi: 10.3390/jcm12113799. PMID: 37297993; PMCID: PMC10253711.
12. Verhagen SN, Rutten A, Meijis MF, Isgum I, Cramer MJ, van der Graaf Y, Visseren FL. Relationship between myocardial bridges and reduced coronary atherosclerosis in patients with angina pectoris. Int J Cardiol. 2013 Aug 10;167(3):883–8. doi: 10.1016/j.ijcard.2012.01.091. Epub 2012 Mar 3. PMID: 22386701.
13. Wu S, Liu W, Zhou Y. Spontaneous coronary artery dissection in the presence of myocardial bridge causing myocardial infarction: an insight into mechanism. Int J Cardiol. 2016 Mar 1;206:77–8. doi: 10.1016/j.ijcard.2016.01.085. Epub 2016 Jan 7. PMID: 26780679.
14. Corban MT, Hung OY, Eshthardi P, Rasoul-Arzrumly E, McDaniel M, Mekonnen G, Timmins LH, Lutz J, Guyton RA, Samady H. Myocardial bridging: contemporary understanding of pathophysiology with implications for diagnostic and therapeutic strategies. J Am Coll Cardiol. 2014 Jun 10;63(22):2346–2355. doi: 10.1016/j.jacc.2014.01.049. Epub 2014 Feb 26. PMID: 24583304; PMCID: PMC4065198.

15. Rovera C, Moretti C, Bisanti F, De Zan G, Guglielmo M. Myocardial Bridging: Review on the Role of Coronary Computed Tomography Angiography. *J Clin Med*. 2023 Sep 13;12(18):5949. doi: 10.3390/jcm12185949. PMID: 37762890; PMCID: PMC10532361.
16. Anatomic properties of myocardial bridge predisposing to myocardial infarction. Ishikawa Y, Akasaka Y, Suzuki K, et al. *Circulation*. 2009;120:376–383.
17. Podolec J, Wiewiórka Ł, Siudak Z, Malinowski K, Dudek D, Gackowski A, Żmudka K, Legutko J. Prevalence and clinical presentation of myocardial bridge on the basis of the National Polish Percutaneous Interventions Registry and the Classification of Rare Cardiovascular Diseases. *Kardiol Pol*. 2018 Dec 20;77(4):465–470. doi: 10.5603/KP.a2019.0041. Epub 2019 Feb 28. PMID: 30835330.
18. Exercise-induced repolarization changes in patients with isolated myocardial bridging. Aksan G, Nar G, İnci S, Yanık A, Kılıçkesmez KO, Aksoy O, Soyulu K. *Med Sci Monit*. 2015;21:2116–2124.
19. Myocardial bridging: contemporary understanding of pathophysiology with implications for diagnostic and therapeutic strategies. Corban MT, Hung OY, Eshtehardi P, et al. *J Am Coll Cardiol*. 2014;63:2346–2355.
20. Ibarrola M (2021) Myocardial Bridges a Forgotten Condition: A Review. *Clin Med Img Lib* 7:162. doi.org/10.23937/2474-3682/1510162.
21. Rovera C, Moretti C, Bisanti F, De Zan G, Guglielmo M. Myocardial Bridging: Review on the Role of Coronary Computed Tomography Angiography. *J Clin Med*. 2023 Sep 13;12(18):5949. doi: 10.3390/jcm12185949. PMID: 37762890; PMCID: PMC10532361.
22. Functional versus anatomic assessment of myocardial bridging by intravascular ultrasound: impact of arterial compression on proximal atherosclerotic plaque. Yamada R, Tremmel JA, Tanaka S, et al. *J Am Heart Assoc*. 2016;5:0.
23. Optical coherence tomography. Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. *Science*. 1991;254:1178–1181.
24. Augmentation of vessel squeezing at coronary-myocardial bridge by nitroglycerin: study by quantitative coronary angiography and intravascular ultrasound. Hongo Y, Tada H, Ito K, Yasumura Y, Miyatake K, Yamagishi M. *Am Heart J*. 1999;138:345–350.
25. Invasive assessment of myocardial bridging in patients with angina and no obstructive coronary artery disease. Pargaonkar VS, Kimura T, Kameda R, et al. *EuroIntervention*. 2021;16:1070–1078.
26. Matta A, Roncalli J, Carrié D. Erratum to «Update review on myocardial bridging: New insights,» [Trends in Cardiovascular Medicine, volume 34, issue 1, pages 10–15, 2024]. *Trends Cardiovasc Med*. 2024 May;34(4):278. doi: 10.1016/j.tcm.2024.03.005. Epub 2024 Apr 6. Erratum for: *Trends Cardiovasc Med*. 2024 Jan;34(1):10–15. doi: 10.1016/j.tcm.2022.06.002. PMID: 38584067.
27. Sternheim D, Power DA, Samtani R, Kini A, Fuster V, Sharma S. Myocardial Bridging: Diagnosis, Functional Assessment, and Management: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol*. 2021 Nov 30;78(22):2196–2212. doi: 10.1016/j.jacc.2021.09.859. PMID: 34823663.
28. Schicchi N, Fogante M, Paolini E, Cela F, Pirani PE, Perna GP. Stress-rest dynamic-CT myocardial perfusion imaging in the management of myocardial bridging: A «one-stop shop» exam. *J Cardiol Cases*. 2023 Aug 16;28(6):229–232. doi: 10.1016/j.jccase.2023.08.002. PMID: 38126055; PMCID: PMC10730270.
29. Ji Q, Shen J, Xia L, Ding W, Wang C. Surgical treatment of symptomatic left anterior descending myocardial bridges: myotomy vs. bypass surgery. *Surg Today*. 2020 Jul;50(7):685–692. doi: 10.1007/s00595-019-01935-1. Epub 2020 Jan 1. PMID: 31893309.
30. Five-year angiographic and clinical follow-up of patients with drug-eluting stent implantation for symptomatic myocardial bridging in absence of coronary atherosclerotic disease. Ernst A, Bulum J, Šeparović Hanževački J, et al. <https://www.hmpgloballearningnetwork.com/site/jic/articles/five-year-angiographic-and-clinical-follow-patients-drug-eluting-stent-implantation-symptom>. *J Invasive Cardiol*. 2013;25:586–592.
31. Farukhuddin F, Akrmah M, Hussain MR, Iqbal A, Alam M. When the Heart Cries Wolf: Myocardial Bridging Presenting as Angina-like Chest Pain. *Cureus*. 2019 Aug 15;11(8):e5392. doi: 10.7759/cureus.5392. PMID: 31620318; PMCID: PMC6791395.

© Бочкарёв Алексей Борисович (Zvvykufzg8xd@mail.ru); Новиков Максим Сергеевич (doc.max013@mail.ru);  
Шевердин Николай Николаевич (nsheverdin81@mail.ru); Торопов (Григорян) Ксения Арсенова (grigoryan.ksenia@gmail.com); Проклова Гузель Фаритовна;  
Курскова Анастасия Игоревна (anastasiakur-skova7@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ ЭМФИЗЕМАТОЗНОГО ОСТИЕМИЕЛИТА У РЕБЕНКА

## CLINICAL CASE OF EMPHYSEMATOUS OSTEOMYELITIS IN A CHILD

**I. Vashurkina**  
**A. Kazankina**  
**E. Kazankina**  
**D. Puzakova**  
**V. Kazankina**

*Summary.* Emphysematous osteomyelitis is a rare disease, especially in children. This article presents a clinical case of this disease in a 12-year-old child after a fracture of the neck of the right femur. This disease was characterized by fever, pain in the right hip and knee joints. Purulent inflammation at the site of the lesion was caused by actinomycetes.

*Keyword:* emphysematous osteomyelitis, actinomycosis, intraosseous gas, periosteal reaction, computed tomography.

**Вашуркина Ирина Михайловна**

к.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Национальный  
Исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарева» (Саранск)  
itpolyakova@ya.ru

**Казанкина Анастасия Сергеевна**

ФГБОУ ВО «Национальный Исследовательский  
Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарева» (Саранск)  
anastasiakazankina@mail.ru

**Казанкина Елена Николаевна**

Врач-рентгенолог, ГБУЗ РМ «Детская республиканская  
клиническая больница» (Саранск)  
kazankinae@list.ru

**Пузакова Дарья Владимировна**

ФГБОУ ВО «Национальный Исследовательский  
Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарева» (Саранск)  
dashapuzakova.puzakova@yandex.ru

**Казанкина Валерия Сергеевна**

Врач-рентгенолог, ГБУЗ РМ «Детская республиканская  
клиническая больница» (Саранск)  
lera.kazankina@mail.ru

*Аннотация.* Эмфизематозный остеомиелит редко встречающееся заболевание, особенно у детей. В данной статье представлен клинический случай данного заболевания у ребенка 12 лет после перелома шейки правой бедренной кости. Данное заболевание характеризовалось повышением температуры, болью в правом тазобедренном и коленном суставах. Гнойное воспаление в месте поражения было вызвано актиномицетами.

*Ключевые слова:* эмфизематозный остеомиелит, актиномикоз, внутрикостный газ, периостальная реакция, компьютерная томография.

### Введение

Эмфизематозный остеомиелит редко встречающееся заболевание, особенностью которого является наличие газа в костях и в окружающих мягких тканях на фоне предрасполагающих факторов (злокачественные новообразования, сахарный диабет, иммунодефицитные состояния, а также травмы и переломы), значительно ухудшающих общее состояние больного. Это состояние обычно вызывается анаэробными бактериями или представителями семейства Enterobacteriaceae, которые обладают способностью выделять газ в инфицированных тканях. [1,2] Средние показатели летальности показывают 21,5–32,2 %. [3,4]

*Цель данной статьи* демонстрация редкого случая эмфизематозного остеомиелита у ребёнка в Детской ре-

спубликанской клинической больницы (ДРКБ) Республики Мордовия. [5]

*Клинический случай:* Мальчик, 12 лет, поступил с острой болью в правом тазобедренном суставе. Анамнез заболевания: после игры в футбол почувствовал боль в правой ноге по данным Rg выставлен диагноз: перелом большого вертела правой бедренной кости. Была выполнена гипсовая иммобилизация на 1 месяц. В этот период наблюдалась лихорадка 40 гр., субфебрилитет около 7 дней, получал антибиотики с положительным эффектом. После снятия гипса пациент отмечал выраженный болевой синдром в правом коленном и тазобедренном суставах при попытке движения, правосторонний гонит, флебит бедренной вены, тромбоз подкожной и подколенной вен справа. Госпитализирован по экстренным показаниям с диагнозом острый тромбоз подкожных



а



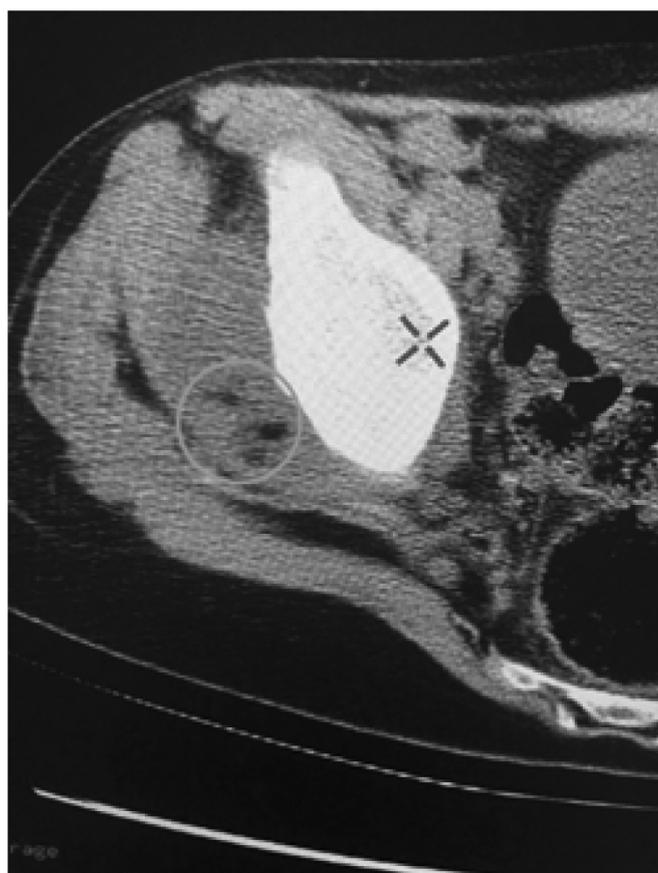
б

Рис. 1. а, б. КТ правого тазобедренного сустава во фронтальной проекции

вен правой нижней конечности, олигоартрит. Переведен в отделение реанимации и интенсивной терапии, проводилась симптоматическая и противовоспалительная терапия. КТ тазобедренных суставов — признаки внутрикостного газа, выпот в полости сустава с включением пузырьков газа, подвывих правой бедренной кости. Был переведен на стационарное лечение в СПб НИИФ, где была выполнена операция артротомия с вывихом головки правой бедренной кости, синовэктомия, резекция



а



б

Рис. 2. а, б. КТ правого тазобедренного сустава в аксиальной проекции

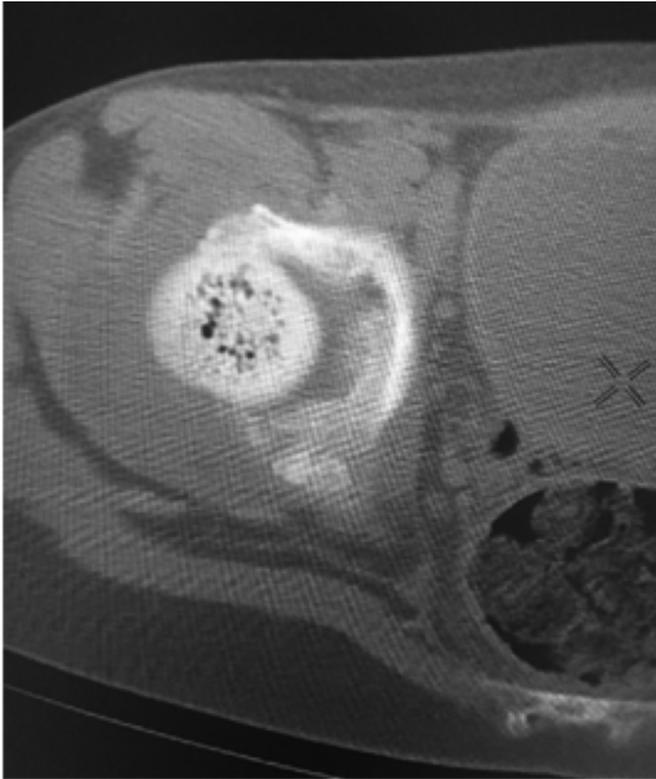


Рис. 3. КТ правого тазобедренного сустава в аксиальной проекции

патологических очагов. Аутопластика. Гистологическое исследование: гнойное воспаление, нельзя исключить актиномикоз. Пересмотр препаратов в НИИ микологии им. Кашкина — подтвержден актиномикоз. По результатам КТ тазобедренных суставов через 11 месяцев после

операции наблюдалось отсутствие активного костно-деструктивного процесса. Укорочение правой нижней конечности на 5 см. Ходит самостоятельно, при помощи трости. Движения в правом тазобедренном суставе ограничены. Рекомендации для дальнейшего лечения: наблюдение у ортопеда и хирурга, ограничение подвижных игр, реабилитация, занятия ЛФК, бассейн.

Дисконгруентность в правом тазобедренном суставе за счет дислокации бедренной кости кнаружи, в структуре головки визуализируются пузырьки внутрикостного газа (рис. 1, а, б)

А-линейная периостальная реакция тела правой подвздошной кости, что свидетельствует в пользу воспалительного процесса. Б-периартикулярные мягкие ткани выражено утолщены с включением пузырьков газа, более вероятно, абсцесс. (рис. 2, а, б)

В головке бедренной кости визуализируется внутрикостный газ, в полости сустава большое количество однородного выпота. (рис. 3)

#### Заключение

Таким образом, эмфизематозный остеомиелит является редким заболеванием в педиатрической практике, однако опасным для жизни. Лечение подразумевает хирургическое вмешательство и антибактериальную терапию. Также важным условием удачного исхода заболевания является своевременная диагностика.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zouine Y. et al. A Rare Case Report of Emphysematous Osteomyelitis of the Femur in a Pediatric Patient: Imaging Findings and Review of the Literature. *Scholars Journal of Medical Case Reports*. 2023; 6: 1134–1137. DOI: 10.36347/sjmcr.2023.v11i06.024
2. McDonnell O., Khaleel Z. Emphysematous Osteomyelitis. *JAMA Neurol*. 2014; 71(4): 512. DOI:10.1001/jamaneurol.2013.90.
3. Goh T, Goh LG, Ang CH, Wong CH. Early diagnosis of necrotizing fasciitis. *British Journal of Surgery*. 2014; 101(1): 119–25. DOI: 10.1002/bjs.9371.
4. Misiakos E.P., Bagias G., Patapis P., Sotiropoulos D., Kanavidis P., Machairas A. Current concepts in the management of necrotizing fasciitis. *Frontiers in Surgery*. 2014; 29(1): 36. DOI: 10.3389/fsurg.2014.00036.
5. N. A. Okunev, A. N. Okuneva, N. A. Kalabkin, A. G. Pavkina. A case of emphysematous osteomyelitis in the pediatric practice. *Детская хирургия*. 2023; 27(5): 383–389. DOI 10.55308/1560-9510-2023-27-5-383-389.
6. Белобородов В.А., Фролов А.П. Эмфизематозный остеомиелит, осложнённый некротизирующим фасциитом и миозитом. *Новости хирургии*. 2020; 28(3): 344–9. DOI: 10.18484/2305-0047.2020.3.344

© Вашуркина Ирина Михайловна (impolyakova@ya.ru); Казанкина Анастасия Сергеевна (anastasiakazankina@mail.ru); Казанкина Елена Николаевна (kazankinae@list.ru); Пузакова Дарья Владимировна (dashapuzakova.puzakova@yandex.ru); Казанкина Валерия Сергеевна (lera.kazankina@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ МНОГОКАМЕРНОГО ЭХИНОКОККА В ПЕЧЕНИ В КИТАЕ

**Гламздин Игорь Геннадьевич**

Доктор ветеринарных наук, профессор,  
Российский биотехнологический университет

**Чжан Нань**

Российский биотехнологический университет  
yianran123456@gmail.com

## RESEARCH ON THE APPLICATION OF ULTRASONIC DIAGNOSIS OF MULTILOCULAR ECHINOCOCCUS IN THE LIVER IN CHINA

**I. Glamazdin  
Zhang Nan**

*Summary.* Ultrasound detection is non-invasive, harmless, real-time, inexpensive and widely equipped. At present, it is the preferred imaging method for the detection of multilocular hepatic echinococcosis (Hepatic Alveolar Echinococcosis, HAE). The study results show that the contrast-enhanced ultrasound imaging (CEUS) and acoustic radiation force pulse imaging (ARFI) technology can effectively overcome the shortcomings of traditional two-dimensional ultrasound and color Doppler mapping. In addition, studies have shown that the accuracy of ultrasound detection results is mainly affected by four factors: the size of AE lesions, the degree of calcification, the degree of liquefaction and necrosis, and the blood flow signal. In terms of improving the diagnostic accuracy of test results, the main attempt is to use big data artificial intelligence to enhance the recognition capability, which can effectively solve the problem of the blurred boundaries of liver lesions.

*Keywords:* liver, Echinococcus multilocularis, ultrasound.

*Аннотация.* Ультразвуковое обнаружение неинвазивно, безвредно, в режиме реального времени, недорого и широко оснащено. В настоящее время это предпочтительный метод визуализации для обнаружения многокамерного эхинококкоза печени (Hepatic Alveolar Echinococcosis, HAE). Результаты исследования показывают, что технология ультразвуковой визуализации с контрастным усилением (CEUS) и акустической радиационной силовой импульсной визуализации (ARFI) может эффективно устранить недостатки традиционного двумерного ультразвукового исследования и цветного доплеровского картирования. Кроме того, исследования показали, что на точность результатов ультразвукового обнаружения в основном влияют четыре фактора: размер очагов АЭ, степень кальцификации, степень разжижения и некроза, а также сигнал кровотока. Что касается повышения диагностической точности результатов тестов, основная попытка заключается в использовании искусственного интеллекта больших данных для расширения возможностей распознавания, что позволяет эффективно решать проблему размытых границ поражений печени.

*Ключевые слова:* печень, Echinococcus multilocularis, УЗИ.

**А**львеолярный эхинококкоз печени (АЭ) — зоонозное, хроническое и злокачественное паразитарное заболевание, вызываемое ленточным червем *Echinococcus multilocularis*. Он широко популярен во всем мире, причем основными популярными регионами являются Восточная Европа, Россия и Китай в северном полушарии. Ежегодно в мире регистрируется около 20000 новых случаев, 91 % из которых, расположены в Китае, в основном сосредоточены в сельскохозяйственных и скотоводческих провинциях Китая, таких как Цинхай, Тибет, Синьцзян, Ганьсу, Нинся и западная часть Сычуани. Гарзэ-Тибетская автономная префектура и Аба-Тибетско-Цянская автономная префектура в провинции Сычуань являются основными эндемичными районами Китая. В частности, распространенность АЭ в уезде Шицю провинции Сычуань и уезде Чжан провинции Ганьсу значительно выше, чем в других районах Китая.

Многокамерный эхинококкоз печени имеет характеристики инфильтративного роста. Он часто размножается в печени путем инфильтрации или почкования.

Он не только поражает соседние органы и ткани, вызывая необратимое прогрессирующее поражение печени, но также может проникать через лимфатическую систему или кровеносную систему метастазирует в отдаленные органы, и примерно у 1–3 % пациентов с АЭ развиваются метастазы в центральную нервную систему. Без лечения 10-летняя смертность может достигать 75–100 %, а пациентам с выраженной АЭ даже требуется экстракорпоральная резекция печени и аутологичная трансплантация печени. Его клинические проявления подобны злокачественным опухолям, поэтому его еще называют «раком-червем». На ранних стадиях инфекции АЭ пациенты часто не имеют симптомов. На средних и поздних стадиях основные симптомы включают боль в верхней части живота, твердые образования в области печени, желтуху с высокой температурой и метастазы в соседние органы и ткани, в легкие и мозг. Примерно у 30 % больных в очагах поражения можно обнаружить фрагменты ткани печени и желчь, содержащие паразитов, или некротические полости, содержащие гной. У 50 % больных наблюдается увеличение печени или яв-

ные образования в области печени, у 50–80 % больных наблюдается вздутие и дискомфорт в животе, более 50 % больных имеют холестатическую желтуху различной степени, иногда сопровождающуюся болями в верхней части живота, ознобом и т.д. высокая температура и другие симптомы.

Основными осложнениями АЭ являются септицемия, вызванная инфекцией желчи, или токсический шок, вызванный обструкцией или инфекцией желчевыводящей системы. Кроме того, примерно у 10–12 % пациентов могут развиваться метастазы поражения, которые чаще встречаются в тканях и органах, прилегающих к печени. Метастазы также можно наблюдать в важных органах, таких как легкие и мозг, и редко в костях и селезенке. У больных АЭ также можно обнаружить тромбы, образованные некоторыми паразитами, что также является одной из причин смерти больных АЭ.

В настоящее время клиническое лечение АЭ в основном основано на хирургическом лечении. Однако из-за длительного инкубационного периода АЭ и неочевидности ранних симптомов большинство из них на момент обнаружения находятся уже на средней и поздней стадиях, что в значительной степени увеличивает трудность операции и даже теряет шанс на радикальное излечение. Если возможность полного излечения утеряна, перед пациентом встает дилемма приема лекарств пожизненно. Даже если можно выполнить радикальную хирургическую резекцию, часто требуется удалить более 1 см ткани от края поражения, поскольку существующие методы визуализационного исследования эффективны и на границе между краем поражения и окружающей нормальной печенью ткань не видна невооруженным глазом. После операционной хирургии частота рецидивов по-прежнему высока. Таким образом, раннее выявление, ранняя диагностика и раннее лечение являются ключом к борьбе с АЭ.

### 1. Основной процесс заражения человека *Echinococcus multilocularis*

Конечными хозяевами *Echinococcus multilocularis* являются собаки. Паразитируют они преимущественно в кишечнике собак. Взрослые черви выделяют яйца в кишечный тракт окончательного хозяина и выделяют с фекалиями окончательного хозяина. Выживаемость яиц насекомых очень высока, и они могут выжить даже при температуре до  $-50^{\circ}\text{C}$  и в сухой среде. Выделенные яйца загрязняют окружающую среду и заглатываются промежуточным хозяином. После попадания в кишечник промежуточного хозяина личинки под действием желчи проникают через стенку кишечника и попадают в систему кровообращения, заражая тем самым промежуточного хозяина. Промежуточными хозяевами являются преимущественно мелкие млекопитающие,

но промежуточными хозяевами могут быть и люди. Однако люди не являются важной частью жизненного цикла *Echinococcus multilocularis*. Личинки *Echinococcus multilocularis* развиваются в организме человека чрезвычайно медленно. Люди с большей вероятностью случайно заражаются *Echinococcus multilocularis*. Основная причина заключается в том, что они случайно поедают пищу, содержащую *Echinococcus multilocularis*. Районы Китая, подверженные АЭ, — это районы животноводства, где обитает большое количество собак. Собаки заражаются при поедании инфицированных мелких млекопитающих или их туш, а затем служат источником инфекции для заражения людей.

### 2. Причины выбора ультразвука в качестве метода обнаружения АЭ

В последние годы с развитием технологий медицинской визуализации диагностика АЭ вышла на новый уровень. Методы обнаружения, используемые в настоящее время, в основном включают компьютерную томографию (КТ), магнитно-резонансную томографию (МРТ), позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ) и ультразвук (УЗИ, США).

Среди них КТ и МРТ являются основными средствами четкой диагностики АЭ. Они подходят для особых локализаций и атипичных АЭ. Однако их также легко спутать со злокачественными опухолями печени, гемангиомой, ХЭ и другими заболеваниями, обследования часто находятся в одном и том же состоянии. Поздняя стадия, поэтому не подходит для крупномасштабного раннего скрининга. ПЭТ в настоящее время является наиболее развитой технологией молекулярной визуализации и считается золотым стандартом для оценки метаболической активности АЭ. Однако она дорога и не может быть портативной, что ограничивает ее широкомасштабное использование и не может использоваться для раннего крупномасштабного скрининга. Только ультразвук обладает характеристиками неинвазивности, безвредности, получения изображений в реальном времени, низкой стоимости, обширного оборудования и простоты эксплуатации. Таким образом, ультразвуковое тестирование является предпочтительным методом тестирования для крупномасштабного быстрого скрининга АЭ.

С конца 1950-х годов в Китае для диагностики эхинококкоза используют ультразвук. Благодаря развитию ультразвукового оборудования и богатому клиническому опыту врачей уровень соблюдения ультразвуковой диагностики кистозного эхинококкоза (КЭ) достиг 99 % и имеет клиническое значение.

Но, в то же время традиционное ультразвуковое исследование имеет и некоторые проблемы, которые невозможно решить. Проблема традиционного двух-

мерного ультразвукового исследования заключается в том, что границы измеряемых образований нечеткие, а измеренные значения всегда меньше реальных размеров образований, что часто приводит к рецидивам из-за неполного удаления образований во время операции. Проблема с цветной доплеровской визуализацией потока (CDFI) заключается в том, что очаги АЭ могут обнаруживать только небольшое количество сигналов кровотока на их краях. В центре очагов нет сигнала кровотока, и происходит «усечение» от края внутрь очагов поражения. Таким образом, хотя традиционное двумерное УЗИ и цветное доплерографическое исследование в настоящее время являются предпочтительными методами крупномасштабного скрининга АЭ, их более важным применением является последующий контроль после лечения.

Для решения проблем традиционного ультразвукового исследования в последние годы были разработаны новые технологии ультразвуковой визуализации. В основном используются ультразвуковые технологии с контрастным усилением (CEUS) и технологии импульсной эластографии (Акустическая радиационная силовая импульсная визуализация, ARFI).

Ультразвук с контрастным усилением (CEUS) — это усовершенствованная технология ультразвуковой визуализации, разработанная на основе УЗИ. Благодаря внутривенной инъекции ультразвукового микропузырькового контрастного вещества она может выполнять оценку режима усиления поражения в реальном времени, тем самым улучшая диагностические возможности АЭ. Ультразвук с контрастным усилением может предоставить больше информации для точного диагноза, особенно при ранних стадиях АЭ с атипичными особенностями. Ультразвук с контрастным усилением используется в клинической практике более десяти лет, а его способность диагностировать и идентифицировать локальные поражения печени, даже сравнима с расширенной КТ и расширенной МРТ. Контрастное вещество, используемое в этом методе обнаружения, не требует метаболизма в печени и почках, поэтому токсичность для печени или почек наблюдается редко. Контрастное вещество начинает действовать быстро после введения в организм человека и сохраняется в течение длительного времени и не имеет радиации. Его можно применять для людей любого возраста, а также для пациентов в критическом состоянии. Существующие контрастные вещества могут даже усиливать эхосигналы более чем в 200 раз.

Технология импульсной эластографии (Acoustic Radiation Force Impulse I, ARFI) излучает импульсы к тканям и органам через зонд, вызывая небольшую деформацию пораженных участков вследствие удара, тем самым вызывая продольное смещение тканей в целевой

области и боковую вибрацию. Эта боковая вибрация будет создавать скорость поперечной волны (скорость поперечной волны, SWV) абсолютной твердости ткани. ARFI может количественно и качественно измерить модуль упругости ткани. Технология визуализации тканей при акустической пальпации (Virtual Touch Tissue Imaging, VTI) с использованием этой технологии может уточнить размер поражения. Практические исследования показали, что измерения VTI и CEUS не имеют существенной разницы, и оба лучше, чем КТ.

### 3. Достигнутые результаты исследований

#### 3.1. Акустоморфологические проявления АЭ

В 2010 году Неофициальная рабочая группа Всемирной организации здравоохранения по эхинококку (WHO-IWGE) разработала простую ультразвуковую классификацию АЭ, которая включает псевдоопухоли с рассеянными кальцификациями, псевдокистозными проявлениями, а также ангиоматоидные и кальцинированные поражения. В 2015 году Kratzer et al. предложили подробную акустико-морфологическую классификацию:

- а) Картина града: образование в печени со смешанными гиперэхогенными и гипозоногенными, неровными краями и рассеянными кальцификациями;
- б) Псевдокистозная картина: Псевдокистозный вид из-за центрального некроза, окруженный неравномерными кальцификациями; кольцевые гиперэхогенные области;
- в) Ангиоматозный рисунок: относительно четко очерченная гетерогенная опухоль, которая выглядит гиперэхогенной по сравнению с окружающей паренхимой печени;
- г) Характер оссификации: одиночные или кластерные, преимущественно четко очерченные поражения с дорсальным акустическим затенением;
- е) Метастазирование — подобная картина: наблюдается гипозоногенный рост без признака ореола, аналогичный типичному метастазу в печени.

Кантарчи пришло к выводу, что наиболее часто наблюдаемыми паттернами поражения АЭ в печени являются град и псевдокистозные паттерны, среди которых град является наиболее распространенным, составляя более 50 %, а диаметр поражений, демонстрирующих псевдокистозную акустическую морфологию, значительно больше, чем другие. Не было никакой корреляции между клинической стадией заболевания и ультразвуковым проявлением поражения ни в одном из четырех поражений, и было несколько поражений печени, которые

не соответствовали ни одному из вышеперечисленных образцов.

### Причины проблем при традиционном ультразвуковом контроле АЭ

Причины, по которым точность традиционного ультразвукового исследования при обнаружении АЭ составляет всего около 50 %, по мнению Вэнь Хао из Синьцзянского медицинского университета, заключаются в следующем. Во-первых, ультразвуковые проявления поражений АЭ чрезвычайно сложны. Внутреннее эхо обычно существует в различных формах одновременно: оно может быть гиперэхогенным, изоэхогенным, гипоэхогенным, анэхогенным и т.д., а иногда даже сильным эхом без звуковой тени, и проводить его дифференциальную диагностику с другими объемными образованиями в печени это чрезвычайно сложно. Во-вторых, на результаты диагностики сильно влияет субъективность врача. Поскольку диагноз и уровень операции у каждого врача разные, а уровень заболеваемости АЭ низкий, это приводит к нехватке опыта у врача, и это влияет на возникновение ошибочного диагноза. В-третьих — это ограничение производительности самого ультразвукового диагностического прибора.

Сун Тао из Синьцзянского медицинского университета изучал факторы, влияющие на результаты ультразвукового обнаружения АЭ. Считается, что к факторам, влияющим на результаты УЗИ, относятся: размер очага поражения, расположение, границы и форма очага, степень кальцификации очага поражения, степень разжигания и некроза, а также наличие кровотока, и т. д.

По результатам исследования сделан вывод об отсутствии корреляции между расположением, границами и формой очагов АЭ, экзогенностью внутренних твердых частей, инвазией желчных протоков и сосудов и другими ультразвуковыми проявлениями и соответствием ультразвуковой диагностики, и это не оказывает существенного влияния на результаты ультразвуковой диагностики. Не является фактором риска, приводящим к несоответствию ультразвуковой диагностики. Существует корреляция между размером очагов АЭ, степенью кальцификации, разжигающим некрозом, сигналами кровотока и другими ультразвуковыми проявлениями и соответствием ультразвуковой диагностики, что повлияет на результаты ультразвуковой диагностики, среди которых небольшие очаги, очаги без кальциноза, и поражения без разжигающего некроза. Поражения с сигналами кровотока с большей вероятностью будут неправильно диагностированы, ошибочно диагности-

рованы или пропущены, что является фактором риска, приводящим к противоречивости ультразвуковой диагностики.

Ни Донг и Ван Хайся из Шэньчжэньского университета использовали метод генерации ультразвукового изображения эхинококка печени на основе генеративно-состязательной сети (GAN), чтобы попытаться решить проблему несбалансированных категорий данных ультразвукового изображения при эхинококкозе печени и улучшить идентификацию эхинококка печени. Точность классификации поражений. Предлагается двухэтапный интеллектуальный вспомогательный метод диагностики. На первом этапе решаются задачи локализации и групповой классификации очагов поражения, на втором строится сеть обнаружения эхинококкоза (EDnet) на основе глубокой сверточной нейронной сети. На этапе детальной классификации поражений АЭ достигается на основе локализации и группировки поражений, а также создается классификационная сеть АЭ (сети классификации эхинококкоза, ESnet), основанная на мелкозернистой визуальной классификации.

Ма Шумей и Мэн Циньян из Цинхайского университета изучали возможность применения сдвиговолновой эластографии (СВЭ) для дифференциации гепатоальвеолярного эхинококкоза (АЭ) и рака печени. Всего было собрано 86 случаев, в том числе 23 случая гепатоальвеолярного эхинококкоза (НАЭ), 42 случая гепатоцеллюлярной карциномы (ГЦК), 13 случаев метастатического рака печени (MLC) и 8 случаев холангиокарциномы (ХКК). Этим пациентам предоперационно проводились плановые ультразвуковые исследования и SWE-обследования. Был измерен и рассчитан средний модуль Юнга для каждого типа поражения, а результаты гистопатологического исследования использовались в качестве золотого стандарта для оценки эффективности и точности SWE в дифференциальной диагностике АЭ и рака печени. Результаты их исследований доказывают, что существуют различия в средних значениях модуля Юнга АЭ и поражений раком печени, а SWE можно использовать для выявления АЭ и рака печени.

Традиционная ультразвуковая визуализация имеет недостатки в обнаружении альвеолярного эхинококкоза печени. Хотя появление новых технологий может в определенной степени повысить способность обнаружения заболевания, оно все еще имеет недостатки в клиническом применении и до сих пор не позволяет обеспечить широкомасштабное обнаружение. Площадь, ранняя стадия, точная и портативная, все еще нуждается в постоянном совершенствовании.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Гао Цзин. Интервенционное исследование рекомендаций по медицинскому просвещению в отношении знаний, убеждений и поведения тибетских пациентов с альвеолярным заболеванием печени, Синьцзянский медицинский университет, 2016 г.
2. Ли Хуаньцзюнь, Нью Вэйдун. Эпидемиологическое исследование и анализ эхинококкоза в округе Сунан, провинция Ганьсу.
3. Чжао Шунюнь, Аджид, Ву Шиле и др. Текущее состояние и прогресс в лечении поздней стадии альвеолярного гидатидного заболевания печени. Китайский журнал гепатобилиарной хирургии 2020 (03): 237.
4. Сунь Инь. Текущее состояние диагностики и лечения альвеолярного эхинококка печени. Medical Review, 2014, 20(9):1593.
5. Чжан Чивэй, Цянь Сюэсун. Цветной доплеровский ультразвуковой диагностический прибор ARFI, технический принцип и клиническое применение 2012.33(08): 121.
6. Чжэн Хуэйфан. Дифференциально-диагностическая ценность ультразвукового исследования с контрастным усилением в дифференциальной диагностике альвеолярного эхинококка печени и солидных объемных поражений печени. China Continuing Medical Education, 2016, 8 (5): 47.
7. Сун Тао. Исследование области инфильтрации и пролиферации альвеолярного эхинококкоза печени с использованием серого ультразвукового исследования с контрастным усилением, Синьцзянский медицинский университет, 2012 г.
8. Абдулсалам · Абликму. Диагностическая ценность многофакторного анализа ультразвуковых проявлений альвеолярного эхинококка печени [D], Синьцзянский медицинский университет, 2022 г.
9. Ван Хайся. Исследование интеллектуального вспомогательного метода диагностики эхинококкоза на основе ультразвуковых изображений печени, Университет Шэньчжэня, 2020 г.
10. Мэн Цинъян, Ма Шумей, Фань Хайнин и др. Дифференциальная диагностика альвеолярной гидатидной болезни и гепатоцеллюлярной карциномы с использованием сдвиговой эластографии в реальном времени. Chinese Medical Imaging Technology 2020, 36 (1): 99.
11. Ли Ше, Фань Хайнин, Ма Шумей и др. Анализ параметров CEUS в краевых областях при различных типах альвеолярного гидатидного заболевания печени Chinese Medical Imaging Technology, 2017, 33(4): 552.
12. Донг Тяньтянь, Не Фанг, Вэй Цзяци и др. Диагностика альвеолярного эхинококкоза печени с помощью ультразвука с контрастным усилением в реальном времени. Китайская технология медицинской визуализации. 2015, 31 (6): 872.

---

© Гламаздин Игорь Геннадьевич; Чжан Нань (yianran123456@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ТАКТИКА ВЕДЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ПРИ СОЧЕТАННОЙ ТРАВМЕ, ОСЛОЖНЕННОЙ КРОВОТЕЧЕНИЕМ

## TACTICS FOR MANAGING PATIENTS WITH COMBINED TRAUMA COMPLICATED WITH ABDOMINAL AND PELVIC INJURIES BY BLEEDING

**V. Gnoevyh  
A. Manohin  
A. Smolkina  
D. Yangolenko  
I. Timerbaev**

*Summary.* The article presents a study performed on 126 cases of combined trauma. A retro- and prospective study of victims with polytrauma combined with abdominal trauma and pelvic trauma was carried out, as well as a combination of thoracic trauma with abdominal trauma. Critical areas of bleeding of various localizations were identified. The severity of combined injuries was calculated using the Injure Severity Scale (ISS 1974), the severity of damage to parenchymal organs was determined using the Abbreviated Injure Score (AIS 1971). The algorithm of therapeutic and diagnostic measures for polytrauma was carried out taking into account the clinical recommendations "Combined and multiple trauma accompanied by shock".

*Conclusions.* The study of the abdominal space and pelvic cavity for the presence and frequency of existing hematomas opens up ways to solve the tasks of stabilizing the vital functions of victims in time before the onset of traumatic illness, thereby reducing the risks of complications. Identification of critical bleeding zones of various localization in the abdomen and pelvis, with revision of hematomas and hemostasis, stabilization of the pelvic ring, shutdown of extensive reflexogenic zones stimulates reparative regeneration of all types of tissues, which helps to reduce complications in the treatment of patients with severe trauma.

*Keywords:* closed abdominal injury, combined injury, diagnosis, treatment, urgent abdominal complications.

**Гноевых Виталий Викторович**

Кандидат медицинских наук, доцент,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Ульяновский государственный университет»  
sctm@ulsu.ru

**Манохин Андрей Владимирович**

Старший преподаватель,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Ульяновский государственный университет»  
sctm@ulsu.ru

**Смолькина Антонина Васильевна**

Доктор медицинских наук, профессор,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Ульяновский государственный университет»  
smolant1@yandex.ru

**Янголенко Дмитрий Владимирович**

Кандидат медицинских наук,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Ульяновский государственный университет»  
lsd-72@yandex.ru

**Тимербаев Ильшат Илгизович**

Аспирант, Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Ульяновский государственный университет»  
mister.timerbaew@yandex.ru

*Аннотация.* В статье представлено исследование, выполненное на 126 случаях констатации сочетанной травмы. Проведено ретро- и проспективное исследование пострадавших с политравмой в сочетании травмы брюшной полости с травмой таза, а также сочетание травмы груди с травмой брюшной полости. Выявлены критические зоны кровотечения различной локализации. Тяжесть сочетанных повреждений рассчитывали по шкале Injure Severity Scale (ISS 1974), тяжесть повреждения паренхиматозных органов определяли по шкале Abbreviated Injure Score (AIS 1971). Алгоритм лечебно-диагностических мероприятий при политравме проводили с учетом клинических рекомендаций «Сочетанная и множественная травма, сопровождающаяся шоком».

*Выводы.* Изучение пространства живота и полости таза на наличие и частоту распространенности имеющихся гематом снижает риски развития осложнений. Выявление критических зон кровотечения различной локализации в области живота и таза, с выполнением ревизии гематом и гемостазом, стабилизации тазового кольца, исключения обширных рефлексогенных зон стимулирует репаративную регенерацию всех видов тканей, что способствует снижению осложнений в процессе лечения пациентов с тяжелой травмой.

*Ключевые слова:* закрытая травма брюшной полости, сочетанная травма, диагностика, лечение.

### Введение

**П**олитравма по частоте, медико-социальной значимости и исходам занимает одно из лидирующих мест в структуре причин стойкой утраты трудоспособности, инвалидности и смертности [1]. Сочетанная травма, сопровождающаяся одновременными повреждениями трех анатомических областей и более, составляет около 70 % от всех политравм, относится к категории тяжелой и в 60 % наблюдений является причиной летальных исходов [2,3]. Из всей категории сочетанных травм доля пострадавших с одновременным повреждением органов брюшной полости и груди достигает 16,4 %. [4]. Кроме диагностических ошибок, в исходах сочетанной и изолированной травм живота, большое значение имеют тактические и технические ошибки при выполнении хирургических вмешательств, особенно при наличии кровотечения [5].

Массивные кровотечения при переломе костей таза встречаются в 17 % случаев и в 66 % являются причиной смерти от скрытого внутреннего кровотечения. Известно, что в 54–88 % случаев источником кровотечения являются поврежденные сосуды таза [6]. Прогноз пострадавшего с тяжелой сочетанной травмой в первые часы после полученной травмы во многом зависит от усилий, направленных на своевременную остановку кровотечения [7].

### Цель исследования

Изучить распространения гематомы и возможности локализации источника кровотечения в брюшной полости и в области таза при тяжелой сочетанной травме.

### Материал и методы

Исследование выполнено на 88 случаях констатации сочетанной травмы брюшной полости и таза, а также 38 случаев сочетания травм брюшной полости и травм груди. Изучалось пространство брюшной полости и полости таза на наличие и частоту распространенности имеющихся гематом, возможные источники кровотечения в остром и раннем периодах травматической болезни.

Критериями включения: наличие политравмы, отсутствие тяжелой сопутствующей патологии в стадии субкомпенсации и декомпенсации, возраст старше. Критерии исключения: агональное состояние, наличие хронических заболеваний в стадии суб- и декомпенсации, выявленных в процессе лечения. Схема лечения пациентов включала активную хирургическую (I группа) тактику, комплексную интенсивную терапию, направленную на нормализацию показателей гемодинамики и газообмена, профилактику и лечение инфекционных осложнений, и стандартное консервативное (II группа) лечение.

В основную группу вошли пострадавшие, в лечении которых использовались лечебно-диагностическая видеолапароскопия, лапаротомия. Группу сравнения составили 22 пострадавших, в лечении которых использовались традиционные методы (консервативное лечение). Группы сопоставимы по полу, возрасту, тяжести травмы и тяжести состояния при поступлении. В исследование включены пациенты с абдоминальными повреждениями при политравме, и с травмой таза. Нами проведено ретро- и проспективное исследование пострадавших с политравмой в сочетании травмы брюшной полости с травмой таза, что составило 37,4 % от общего числа пострадавших с политравмой, пролеченных в Ульяновском областном центре специализированных видов медицинской помощи, где располагается клиника медицинского факультета им. Т.З. Биктимирова Ульяновского государственного университета за 8 летний период (2015–2023 гг.).

Для более детальной диагностики и определения тактики лечения широко применяли современные методы лучевой диагностики на основе компьютерной томографии и с помощью многофункционального аппарата ультразвуковой диагностики (Sonoscape S6pro sonomed). Дополнительные методы обследования проводили по показаниям, согласно клиническим рекомендациям РФ [8]. Оперативное вмешательство выполняли на фоне продолжающейся противошоковой терапии.

Тяжесть сочетанных повреждений рассчитывали по шкале Injure Severity Scale (ISS), тяжесть повреждения паренхиматозных органов определяли по шкале Abbreviated Injure Score (AIS). Алгоритм лечебно-диагностических мероприятий при политравме проводили с учетом клинических рекомендаций РФ [8].

Пациенты, направленные в травматологический центр III уровня из районных больниц области и находившиеся там на стационарном лечении, с целью стабилизации состояния, транспортированы автомобилем санитарной авиации класса «С». Сроки временного нахождения в условиях районных больниц варьировали от 1 до 3-х суток, до 6 % от общего числа поступивших. Критические зоны кровотечения различной локализации выявляли по авторскому способу ревизии напряженных гематом с признаками продолжающегося внутреннего кровотечения при тяжелой травме таза [9].

### Результаты исследования и их обсуждение

Из 88 больных консервативное лечение получили 22 (25 %) пострадавших. Остальные 66 (75 %) пациентов оперированы, среди них у 19 (28,7 %) — произведены операции на смежных анатомических областях, у 40 (60,6 %) — изолированные операции на органах брюшной полости и у 54 (81,8 %) — одновременно симультан-

ные операции на органах брюшной полости и других анатомических областях.

В исследуемой группе в 56,8 % случаев правило «золотого часа» (+ 15 минут) усилиями бригад скорой помощи и бригадой санитарной авиации удалось соблюсти. В контрольной группе в 49,4 % случаев. Из них 25 % пациентов доставлены в состоянии средней тяжести, 75 % — тяжелые. Летальность в группе «золотого часа» составила 10,71 %. В группе пациентов, выходящих за рамки необходимого времени — 22 %. Среднее время доставки в стационар — 125,6 минут (2,09 часа). Среднее время в группе «золотого часа» — 45,9 минут, в группе не входящей в «золотой час» — 256,9 минуты (4,2 часа).

По степени выраженности травматического шока, по его тяжести, пострадавшие распределялись следующим образом: шок I и II степени сопутствовал сочетанным повреждениям живота у 46 %, у 22 % — имела картина шока III степени без угрозы для жизни, 7 % поступивших в реанимационное отделение находились в критическом состоянии — у них имела место крайне тяжелая степень шока с угрозой для жизни.

Для оценки степени повреждения тазового кольца и наличия пристеночных гематом в полости таза 50 (75,7 %) больным основной и 22 (100 %) пациентам контрольной групп выполнена компьютерная томография области таза. Травматическое повреждение тазового кольца и наличие пристеночных внебрюшинных гематом выявлены у 38 (57,5 %) и 20 (90,9 %) пострадавших основной и контрольной групп соответственно.

По результатам компьютерной томографии 12 (21,4 %) пациентам основной группы с повреждениями тазового кольца и признаками наличия внутритазовой гематомы, поступившим в стационар в течение 24-х часов после травмы, проведена лапаротомия, ревизия гематомы на стороне повреждения, без продолжающегося кровотечения, не требующий активных мероприятий гемостаза. Средняя продолжительность госпитализации составила 24,25 койко-дня\пациент (76 max), при этом у пациентов, поступивших в состоянии средней тяжести — 23, в тяжелом состоянии среднее значение койко-день равен 27,23. У 36,36 % пациентов во время госпитализации в ранний период выявлена анемия тяжелой степени, сопровождавшаяся заместительной гемотрансфузией, у 34,09 % встречалась анемия средней тяжести, у 18,18 % — легкая степень. У 11,36 % пациентов имелись незначительные изменения показателей красной крови без явлений анемии. Среднее время, затраченное на постановку полноценного диагноза по превалирующему повреждению в составе сочетанной травмы и требующей экстренного оперативного вмешательства, составило 92,7 минуты. Среднее время в группе пациентов в состоянии средней тяжести — 57,8 минуты. Среднее

время на постановку полноценного диагноза в тяжелом состоянии — 107,3 минуты.

С целью определения хирургической тактики лечения пострадавших с сочетанными травмами, на основании клиничкоанамнестических данных, выделена группа из 88 пострадавших с политравмой. Мужчин было 65 (73,8 %), женщин — 23 (26,1 %). Средний возраст составлял  $39,4 \pm 3,6$  лет. Тяжесть общего состояния при поступлении в клинику по шкале APACHE III составила  $(81,62 \pm 4,51)$  балла. Тяжелая сочетанная травма органов брюшной полости и таза (в составе тяжелой сочетанной травмы) — в 53 % случаев. Доля повреждения зоны брюшной полости и таза среди тяжелых сочетанных травм 84 %. Среди причин травм доминировали дорожно-транспортные происшествия — 58,6 %, производственные травмы — 17,9 % и бытовые травмы — 12,1 %. В группе пострадавших сочетающих торакальные и абдоминальные повреждения данный показатель составил 13,3 %.

На основании клинических данных при анализе историй болезни, интраоперационной диагностики пациентов с тяжелой травмой органов брюшной полости таза, нами определена группа пострадавших, сопровождающаяся внутренним кровотечением. Объемные кровотечения встречались у 16 (18 %) пострадавших от общего числа случаев тяжелой травмы. Из них кровотечения у женщин встречаются в 17 (48 %) случаях, у мужчин — в 27 (52 %) случаях.

Во всех наблюдениях с травмой в пределах брюшной полости и области таза повреждения сосудов различной локализации наблюдались в 26 (30 %) случаях в области малого таза, а повреждения магистральных сосудов — в 13 (50 %) со 100 % повреждением магистральных вен таза и их притоков. Повреждения магистральных артерий встречались в 17 случаях (20 %). Наряду с повреждениями сосудов наблюдались гематомы с различной локализацией от двух и более клетчаточных пространств и в 30 случаях (35 %) наблюдались распространения гематомы в соседние области, включая гематомы корня брыжейки тонкой кишки, забрюшинного пространства справа и слева. При таком темпе кровотечения спонтанный гемостаз от сдавления сосудов гематомой невозможен в связи с быстрым пропитыванием кровью окружающей клетчатки и распространения гематом в забрюшинном пространстве. Нередко наблюдались ситуации, когда травма внутренней подвздошной вены, требующая перевязки или прошивания ее, сопровождались трудностью нахождения сосудов в массивной внутритазовой гематоме, и больной, как правило, погибал от массивного кровотечения.

Нами выявлены критические зоны кровотечения различной локализации, что в свою очередь имело от-

ражение в данных авторского патента RU 2393779 [8]. В предпузырном пространстве таковыми являлись повреждения подвздошно-запирательного венозного анастомоза слева и аномально отходящая запирательная артерия и вена чаще справа, а также повреждение лонно-пузырного, лонно-предстательного и пузырно-предстательного венозных сплетений.

В боковом клетчаточном пространстве критичной зоной кровотечения являлись повреждения общей подвздошной вены, подвздошно-поясничной вены; внутренней подвздошной вены и ее притоков; внутренней подвздошной артерии и ее заднего ствола. Наиболее часто встречающимся повреждением пристеночных вен являлись латеральная крестцовая вена, общая и внутренняя подвздошные вены, подвздошно-поясничная вена, восходящая поясничная вена.

В позади прямокишечном клетчаточном пространстве малого таза — крестцово-подвздошный венозный комплекс и предкрестцовый венозный анастомоз между левой общей подвздошной веной и задним стволом правой внутренней подвздошной вены; справа — пятая поясничная вена — общая подвздошная вена; слева — общая подвздошная вена — подвздошно-поясничный венозный анастомоз; клетчатка вдоль латеральной стенки общей подвздошной вены в местах впадения париетальных вен таза.

У 42 (47,7 %) пациентов основной группы с повреждениями тазового кольца и признаками наличия внутритазовой гематомы, поступившим в стационар в течение 24-х часов после травмы, проведена лапаротомия, ревизия гематомы на стороне повреждения, достигнут хирургический гемостаз.

У 9 (10,2 %) пациентов основной группы с повреждениями тазового кольца критичной зоной кровотечения являлись повреждения общей подвздошной вены в боковом клетчаточном пространстве.

У 12 (13,6 %) пациентов основной группы с повреждениями тазового кольца критичной зоной кровотечения в предпузырном пространстве критическими зонами кровотечения являлись повреждения в зоне подвздошно-запирательного венозного анастомоза слева.

У 20 (22,7 %) пациентов основной группы с повреждениями тазового кольца в боковом клетчаточном пространстве критичной зоной кровотечения являлись повреждения внутренней подвздошной вены и ее притоков, с распространением в пределы брюшинного этажа малого таза и подвздошной ямки на цислатеральной стороне.

У 3 (3,4 %) пациентов основной группы с повреждениями тазового кольца в боковом клетчаточном про-

странстве критичной зоной кровотечения являлись повреждения слева — подвздошно-поясничного венозного анастомоза между восходящей поясничной веной и задней наружной стенкой общей подвздошной вены, с распространением в пределы подвздошной ямки по собственным фасциальным влагиалищам сосудов.

У 8 (9,0 %) пациентов контрольной группы с повреждениями тазового кольца в позадипрямокишечном клетчаточном пространстве малого таза — критичной зоной кровотечения являлись крестцово-подвздошный венозный комплекс.

Наряду с критическими зонами кровотечения в пристеночные клетчаточные пространства встречались кровотечения из мест переломов, сопровождавшиеся разрывом париетальной фасции таза и повреждением заднего листка париетальной брюшины. Распространение гематомы на фоне продолжающегося кровотечения из места перелома существовали всегда на открытых участках.

Приводим клинический пример. Больная Г, 59 лет, участница ДТП в качестве пассажира, через 1 час 50 минут после травмы доставлена бригадой скорой медицинской помощи в хирургическое отделение с переломами костей таза; перелом обеих лобковых костей со смещением отломков, переломом крыла левой подвздошной кости; массивной гематомой на наружной поверхности таза и левого бедра, распространяющейся на промежность, внутритазовой и забрюшинной гематомой, переломом ребер с 4-го по 10-е слева и 4 ребра справа, без явлений гемо-пневмоторакса, ушибом левой почки и продолжающимся внутренним кровотечением. На рентгенограммах отмечался перелом лобковых и седалищных костей с незначительным смещением отломков вниз. Пациентке выполнена лапаротомия, ревизия органов брюшной полости хирургический гемостаз. При ревизии — гематома в области таза не нарастает, не пульсирует. В брюшной полости до 1 литра крови в нижнем этаже брюшной полости и полости малого таза. Разрывы брыжейки тонкой кишки у корня и брыжейки сигмовидной кишки с переходом на дно левого брыжеечного синуса с формированием забрюшинной гематомы слева. Левое забрюшинное пространство ревизировано. Достигнут хирургический гемостаз путем прошивания локализованных разрывов. С заместительной целью пациентке перелито 750 мл эритроцитарной массы в связи с острой постгеморрагической анемией тяжелой степени. На 5-е сутки послеоперационного периода пациентка переведена в профильное отделение. На 30-е сутки выписана в удовлетворительном состоянии на амбулаторный этап лечения.

При выполнении оперативного пособия, зоны наличия гематомы в пределах дубликатуры брюшины под-

вергались тщательной ревизии на предмет продолжающегося кровотечения, распространение в прилежащие области и необходимости хирургического гемостаза.

Оперативный доступ выполнялся чрезбрюшинный средне-нижнесрединная либо нижнесрединная лапаротомия до симфиза включительно. При этом, пузырное пространство не вскрывалось, а при наличии разрыва мочевого пузыря, вскрывалось после выполнения операционного гемостаза на протяжении. Осуществлялась ревизия и выделение критических зон кровотечения: в пристеночных клетчаточных пространствах малого таза; наличие разрывов париетальной фасции таза с кровотечением из зоны перелома. В зависимости от имеющихся повреждений в брюшной полости определялась дальнейшая хирургическая тактика.

При разрывах полых органов, выполнялась операция ревизии гематом таза и гемостаз, затем выполнялась операция на полом органе. При разрыве паренхиматозных органов в первую очередь выполнялась операция внутрибрюшного гемостаза.

При наличии гематомы забрюшинного пространства слева, с целью ревизии осуществлялась эвентрация тонкого кишечника вправо для мобилизации левой половины ободочной кишки преимущественно на уровне нисходящей ободочной кишки (на уровне фасциального узла), в пределах левого бокового канала.

При наличии гематомы забрюшинного пространства справа, с целью ревизии осуществлялась эвентрация тонкого кишечника влево для мобилизации правой половины ободочной кишки преимущественно на уровне восходящей ободочной кишки (на уровне фасциального узла), в пределах правого бокового канала.

Работа в пределах фасциальных влагалищ артерий позволяла избежать разрушения гематом и усиления кровотечения. Далее выполняли мобилизацию подвздошных вен.

У 4 (4,5 %) пациентов контрольной группы с повреждениями тазового кольца в боковом клетчаточном пространстве критичной зоной кровотечения являлись повреждения магистральных артерий.

Таким образом, средняя продолжительность пребывания в стационаре составляла  $(42,4 \pm 1,5)$  дня, сред-

няя летальность — 19,3 %. Коэффициент летальности составлял 10,2 % в группе оперативного лечения переломов и хирургического гемостаза и 64,3 % — в группе консервативного лечения. Летальность пациентов с сочетанной травмой соотносилась с возрастом пациента и степенью тяжести травмы. Наблюдались расхождения в возрасте и тяжести травмы между выжившими и умершими. Средний возраст выживших, по данным ряда авторов, составлял  $(38,6 \pm 1,3)$ , а по результатам нашего исследования  $41,6 \pm 1,3$  года. В сравнении с данными литературы  $(57,6 \pm 3,6)$ , а по результатам нашего исследования  $40,3 \pm 3,6$  года для умерших. Возраст пациента, тяжесть травмы и ранняя стабилизация переломов костей таза, с интраоперационным хирургическим гемостазом являются важными факторами, оказывающими существенное влияние на результаты лечения и снижение летальности пациентов с сочетанной травмой.

Среди предоперационных факторов ведущее значение имели тяжесть полученных повреждений, тяжесть состояния и величина кровопотери. Среди операционных факторов, влияющих на развитие у пациентов послеоперационных осложнений, отмечалось влияние длительности выполнения оперативного пособия и встречающиеся топографо-анатомические особенности в зоне оперативного вмешательства, а так же количество имеющихся переломов тазового кольца.

## Выводы

Изучение пространства живота и полости таза на наличие и частоту распространенности имеющихся гематом открывает пути решения поставленных задач стабилизации витальных функций пострадавших в сроки, до начала травматической болезни, тем самым снижая риски развития осложнений. Создание условий ранней активации (вертикализации) пострадавших требуют придерживаться активной хирургической тактики в лечении больных с тяжелой травмой таза. Выявление критических зон кровотечения различной локализации в области живота и таза, с выполнением ревизии гематом и гемостазом, стабилизации тазового кольца, включения обширных рефлексогенных зон стимулирует репаративную регенерацию всех видов тканей, что способствует снижению осложнений в процессе лечения пациентов с тяжелой травмой.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов, А.Ю. Хирургическая помощь пострадавшим с автодорожными сочетанными механическими травмами на догоспитальном этапе / А.Ю. Анисимов, В.Ф. Зубрицкий, А.А. Анисимов // Медицинский вестник МВД. — 2021. — №1 — С.29–41.
2. Анализ основных ошибок при оказании первой помощи пострадавшим в дорожно-транспортных происшествиях и возможные пути уменьшения их количества / В.В. Масляков, В.Р. Горбелик, А.В. Пименов [и др.]. // Медицина катастроф. — 2020. — №2. — С. 62–66. DOI:10.33266/2070-1004-2020-2-62-66.
3. Гуманенко Е.К., Завражных А.А., Супрун А.Ю., Хромов А.А. Тяжелая сочетанная травма и политравма: определение, классификация и клиническая характеристика, исходы лечения // Политравма. 2021. № 4. С. 6–17. DOI: 10.24412/1819-1495-2021-4-6-17.
4. Алекперли А.У., Шапот Ю.Б., Алекперов У.К. и др. Динамическая оценка тяжести состояния пострадавших при сочетанной шокогенной травме // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. — 2007. — №4, приложение. — С. 56
5. Хаджибаев А.М., Султанов П.К. Абдоминальные кровотечения при кататравме // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2016. №2, Т.175. С. 43–48. DOI:10.24884/0042-4625-2016-175-2-43-48.
6. Рева В.А. Травма таза: классификация и клинические рекомендации всемирного общества неотложной хирургии WSES // Политравма. 2018. №1. С. 81–89.
7. Кажанов И.В., Демко А.Е., Мануковский В.А., Микитюк С.И., Рева В.А., Колчанов Е.А. Павлов Д.В. Хирургический гемостаз при тяжелых сочетанных травмах // Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь». 2019. №4, Т.2. С. 396–408. DOI:10.23934/2223-9022-2019-8-4-396-408
8. Клинические рекомендации «Сочетанная и множественная травма, сопровождающаяся шоком (Политравма)» 12 октября 2022. // Багненко С.Ф., Рева В.А., Агаджанян В.В., Бадалов В.И., Дулаев А.К., И.П. Павлова.
9. Гноевых В.В., Бубнов В.И., Михалев М.В. Способ ревизии напряженных гематом с признаками продолжающегося внутреннего кровотечения при тяжелой травме таза. Патент РФ. 2393779. 2009.

---

© Гноевых Виталий Викторович (scmm@ulsu.ru); Манохин Андрей Владимирович (scmm@ulsu.ru);  
Смолькина Антонина Васильевна (smolant1@yandex.ru); Янголенко Дмитрий Владимирович (lsd-72@yandex.ru);  
Тимербаев Ильшат Илгизович (mister.timerbaew@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОДНОМОМЕНТНОЙ И ОТСРОЧЕННОЙ ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

## COMPARATIVE ANALYSIS OF IMMEDIATE AND DELAYED DENTAL IMPLANTS INSTALLATION

**A. Gromov**  
**A. Shchenin**  
**I. Fomichev**  
**D. Nikonov**

*Summary.* The article is devoted to the comparative characteristics of the study of the phenomenon of osseointegration during the installation of dental implants. Simultaneous dental implantation may be the method of choice in the treatment of patients with chronic fibrous periodontitis and dental injuries to be removed and subsequent rehabilitation with orthopedic structures based on implants. The advantages of simultaneous dental implantation compared to delayed one are a reduction in rehabilitation time by 3 months after tooth extraction due to the absence of a healing period of the well and a smaller volume of bone remodeling.

*Keywords:* dental implantation, secondary adentia, dental rehabilitation, inflammatory complications, osseointegration.

**Громов Александр Леонидович**

д.м.н., доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения

Российской Федерации

[gromov.alexandr2011@yandex.ru](mailto:gromov.alexandr2011@yandex.ru)

**Щенин Андрей Валентинович**

к.м.н., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
[schenin-92@mail.ru](mailto:schenin-92@mail.ru)

**Фомичев Игорь Валентинович**

к.м.н., Заслуженный врач РФ

[glavniy\\_stomatolog@mail.ru](mailto:glavniy_stomatolog@mail.ru)

**Никонов Дмитрий Викторович**

Главный врач, Государственное автономное учреждение здравоохранения

«Елецкая стоматологическая поликлиника»  
[glavniy\\_stomatolog@mail.ru](mailto:glavniy_stomatolog@mail.ru)

*Аннотация.* Статья посвящена сравнительной характеристике исследования феномена остеоинтеграции при установке зубных имплантатов. Одномоментная зубная имплантация может являться методом выбора при лечении пациентов с хроническим фиброзным периодонтитом и травмами зубов, подлежащих удалению и последующей реабилитации ортопедическими конструкциями с опорой на имплантаты. Преимуществами одномоментной зубной имплантации по сравнению с отсроченной является сокращение сроков реабилитации на 3 месяца после удаления зуба в связи с отсутствием периода заживления лунки и меньшим объемом моделирования костной ткани.

*Ключевые слова:* зубная имплантация, вторичная адентия, стоматологическая реабилитация, воспалительные осложнения, остеоинтеграция.

### Актуальность

Дентальная имплантация в настоящее время является в полной мере апробированным методом реабилитации пациентов с первичной и вторичной адентией [1]. С момента первой успешной установки внутрикостных зубных имплантатов (ДИ) в 1965 году пациенту с полной вторичной адентией было предложено множество конструкций ДИ, протоколов их установки и нагрузки [2; 3; 4]. Однако среди практикующих специалистов и ученых по настоящее время отсутствует единое мнение по поводу рисков одномоментной зубной имплантации после удаления зуба в сравнении с отсроченной установкой ДИ [5; 6]. Таким образом, оценка остеоинтеграции ДИ непосредственно после удаления зуба

и в отсроченном периоде является актуальной темой, требующей изучения.

*Цель исследования* — оценить остеоинтеграцию ДИ, установленных одномоментно с удалением зуба и в отсроченном периоде для определения эффективности метода одномоментной зубной имплантации.

### Материалы и методы исследования

Рандомизированное клиническое исследование 37 пациентов было проведено на кафедре хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет» Минздрава России на базе медицинского центра

«Здоровье», г. Курск, с января 2023 г. по декабрь 2023 г. Перед участием в исследовании все участники подписывали добровольное согласие на оказание медицинской помощи и проведение дентальной имплантации. Рандомизация осуществлялась при помощи генератора случайных чисел. Были сформированы основная группа и группа сравнения. В основную группу было включено 18 пациентов (8 (44 %) мужчин и 10 (56 %) женщин, средний возраст  $46,5 \pm 11,7$  лет), которым ДИ устанавливались одновременно с удалением зуба. В группе сравнения из 19 пациентов (10 (53 %) мужчин и 9 (47 %) женщин, средний возраст  $47,4 \pm 10,3$  лет), ДИ устанавливались не ранее чем через 3 месяца после удаления зуба в соответствии с определением отсроченной дентальной имплантации [7]. Обе группы пациентов были сопоставимы по поло-возрастному составу и сопутствующей общесоматической патологии ( $p > 0,05$ ). Среди сопутствующих заболеваний наиболее часто встречались хронические заболевания сердечно-сосудистой системы, пищеварительного тракта и органов дыхания вне стадии обострения. Критерии включения в исследование: в основной группе — зубы, подлежащие экстракции вследствие невозможности их дальнейшего консервативного лечения вследствие травмы или фиброзного хронического апикального периодонтита, в группе сравнения — частичная или полная вторичная адентия, время после удаления зуба не менее 3 месяцев. Критерии исключения: неудовлетворительная гигиена полости рта (индекс Федорова-Володкиной более 2 баллов), острый гнойно-воспалительный процесс в области планируемой дентальной имплантации, аллергические реакции на местные анестетики, курение, беременность, декомпенсированная общесоматическая патология, наличие в анамнезе жизни заболеваний, негативно влияющих на течение раневого процесса и ремоделирование костной ткани (сахарный диабет, постоянный прием глюкокортикостероидов, антирезорбтивная терапия бисфосфонатами). Всем пациентам перед проведением установки ДИ проводилась конусно-лучевая компьютерная томография для определения состояния костной ткани в зоне предполагаемой имплантации и подбора размера ДИ.

### Результаты исследования

В соответствии с общепринятыми рекомендациями размер ДИ подбирался таким образом, чтобы после его установки слой костной ткани с вестибулярной и оральной сторон в области шейки ДИ составлял не менее 1,5 мм, а расстояние до соседнего ДИ или зуба составляло не менее 2,0 мм [8]. В рассматриваемых группах пациентов для лечения применялись ДИ модели Swell с внутренним плоскостным шестигранным соединением торговой марки ADIN (производство Израиль). В соответствии с рекомендациями производителя препарирование ложа для дентального имплантата осуществлялось под местной анестезией препаратами ар-

тикаинового ряда фирменными фрезами при помощи понижающего микромоторного наконечника с частотой вращения 500–600 оборотов в минуту под непрерывным охлаждением 0,9 % стерильным раствором натрия хлорида [9]. Удаление зуба в основной группе производилось максимально щадящими способами при помощи короно-радикулярной сепарации под водяным охлаждением и применением люксаторов с целью сохранения максимально возможного объема костной ткани для немедленной дентальной имплантации. Установка ДИ в сформированное ложе осуществлялась вручную при помощи динамометрического ключа с крутящим моментом от 15 до 45 Н·см<sup>2</sup>. В обеих группах ДИ после установки закрывались заглушками, послеоперационная рана наглухо зашивалась не рассасывающимся шовным материалом Монофил 5–0. В послеоперационном периоде проводилась пероральная антибиотикопрофилактика амоксициллином с клавулановой кислотой (таблетки 500+125 мг, 3 раза в день, 5 дней), при аллергии на бета-лактамы антибиотики в анамнезе жизни назначался ципрофлоксацин с тинидазолом (капсулы 500+600 мг, 2 раза в день, 5 дней). В качестве анальгетика назначался ибупрофен 400 мг, до 3 раз в день, 3 дня. Снятие швов производилось на 7 день после оперативного вмешательства. В обеих группах применялся двухэтапный протокол имплантации, формирователи десневой манжеты (ФДМ) устанавливались на ДИ не ранее чем через 3 месяца после установки ДИ. Перед установкой ФДМ производился тест с нагрузкой имплантата в 30 Н·см при помощи динамометрического ключа в соответствии с рекомендациями производителя о затягивании винта абатмента. Прокручивание ДИ в кости свидетельствовало об отсутствии остеоинтеграции. Обработка полученных данных осуществлялась в программах Microsoft Excel и Statistica 10. Нормальность распределения оценивалась при помощи критерия Шапиро-Уилка. Количественные данные представлялись в виде среднего  $\pm$  стандартное отклонение ( $M \pm \sigma$ ), качественные в виде абсолютного числа и процентов. Для оценки различий применялся параметрический Т-критерий Стьюдента и непараметрический точный двусторонний критерий Фишера. Различия между показателями считались достоверными при  $p < 0,05$ .

Всего за период наблюдения в обеих группах было установлено 92 ДИ. В основной группе из 15 (100 %) ДИ не прижилось 2 (13 %) ДИ, в группе сравнения из 77 (100 %) ДИ не прижилось 2 (3 %) ДИ. Проведенный статистический анализ не продемонстрировал наличия различий между сравниваемыми группами по показателю приживаемости ДИ ( $p > 0,05$ ).

### Выводы

В результате проведенного исследования можно сделать вывод о том, что отсутствуют достоверные различия между приживаемостью ДИ при одномоментной

и отсроченной имплантации. Таким образом, одномоментная дентальная имплантация может являться методом выбора при лечении пациентов с хроническим фиброзным периодонтитом и травмами зубов, подлежащих удалению и последующей реабилитации ортопедическими конструкциями с опорой на ДИ. При этом

преимуществами одномоментной дентальной имплантации по сравнению с отсроченной является сокращение сроков реабилитации на 3 месяца после удаления зуба в связи с отсутствием периода заживления лунки и меньшим объемом ремоделирования костной ткани.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Эффективность применения малоинвазивных методик дентальной имплантации / Е.В. Мамчиц, М.В. Семенова, В.И. Петруняк [и др.] // Университетская медицина Урала. — 2020. — Т. 6, № 2(21). — С. 42–44.
2. Кулаков, А.А. Математический расчет для ранней функциональной нагрузки дентальных имплантатов / А.А. Кулаков, А.С. Каспаров, Д.А. Порфенчук // Клиническая стоматология. — 2020. — № 3(95). — С. 54–60. — DOI: 10.37988/1811-153X\_2020\_3\_54.
3. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period / P.I. Brånemark, B.O. Hansson, R. Adell [et al.] // Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery. Supplementum. — 1977. — Vol. 16. — P. 1–132.
4. Group 5 ITI Consensus Report: Implant placement and loading protocols / D. Morton, D. Wismeijer, S. Chen [et al.] // Clinical oral implants research. — 2023. — Vol. 34, № 26. — P. 349–356. — DOI: 10.1111/clr.14137.
5. Гришин, П.О. Клинические исследования стабильности и процесса остеоинтеграции дентальных имплантатов при проведении непосредственной и отсроченной имплантации / П.О. Гришин, Е.А. Калининкова // Проблемы стоматологии. — 2020. — Т. 16, № 4. — С. 97–103. — DOI: 10.18481/2077-7566-20-16-4-97-103.
6. Методы дентальной имплантации / М.Е. Антонова, Э.И. Сунарчин, А.С. Модянова, Д.С. Керимова // Уральский научный вестник. — 2023. — Т. 5, № 2. — С. 94–97.
7. Differences in dental implant survival between immediate vs. delayed placement: a systematic review and meta-analysis / R. Patel, C. Ucer, S. Wright, R.S. Khan // Dentistry journal. — 2023. — Vol. 11, № 9. — P. 218. — DOI: 10.3390/dj11090218.
8. Справочник по дентальной имплантологии / К. Какачи, Й. Нейгебауэр, А. Шлегел, Ф. Сэйдел; пер. с нем. — Москва: МЕДпресс-информ, 2009. — 208 с. — ISBN 5-98322-503-0.
9. Хирургический протокол [Электронный ресурс] // Зубные имплантаты от компании АДИН. — URL: [https://adinrussia.ru/instructions/hirurgicheskiy\\_protokol/](https://adinrussia.ru/instructions/hirurgicheskiy_protokol/) (дата обращения: 20.10.2024).

© Громов Александр Леонидович (gromov.alexandr2011@yandex.ru); Щенин Андрей Валентинович (schenin-92@mail.ru);  
Фомичев Игорь Валентинович (glavniy\_stomatolog@mail.ru); Никонов Дмитрий Викторович (glavniy\_stomatolog@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАННЫХ ДИСФУНКЦИЙ У ПАЦИЕНТОВ С ГНОЙНО-НЕКРОТИЧЕСКОЙ ИНФЕКЦИЕЙ КОЖИ И МЯГКИХ ТКАНЕЙ

## ORGAN FAILURE TYPES IN PATIENTS WITH PURULENT NECROTIC INFECTION OF THE SKIN AND SOFT TISSUES

**A. Dudnik  
S. Uryadov  
E. Katkova  
N. Stekolnikov  
A. Imashev**

*Summary.* Nowadays sepsis definition considers detected organ failure in patients with infection. The kind of organ failure that determines the algorithm of therapeutic measures, including the timing of surgical debridement. The retrospective analysis included 1300 patients with purulent-inflammatory diseases of the skin and soft tissues accompanied by sepsis, according to sepsis-3 definition. The patterns of development of early and late organ failures were studied. It was found, that septic acute kidney injury is the most common clinical manifestation of sepsis in this category of patients.

*Keywords:* sepsis, organ failure, SOFA scale, surgical infection of the skin and soft tissues.

**Дудник Андрей Анатольевич**

Соискатель, Филиал частного учреждения  
образовательной организации высшего образования  
Медицинский университет «Реавиз» в городе Саратов  
andrushkahohol@yandex.ru

**Урядов Сергей Евгеньевич**

Доктор медицинских наук, доцент Филиал частного  
учреждения образовательной организации высшего  
образования Медицинский университет «Реавиз»  
в городе Саратов  
ouriadov@mail.ru

**Каткова Екатерина Евгеньевна**

Соискатель, Филиал частного учреждения  
образовательной организации высшего образования  
Медицинский университет «Реавиз» в городе Саратов  
kydrjshka2007@mail.ru

**Стекольников Николай Юрьевич**

Кандидат медицинских наук, доцент,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Саратовский государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
nimph2008@yandex.ru

**Имашев Алихан Саламатович**

Соискатель, Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Саратовский государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
imashevalihan@yandex.ru

*Аннотация.* В современных представлениях сепсис рассматривается как развитие органических дисфункций при наличии инфекционного очага. Именно характер развившейся недостаточности определяет объём лечебных мероприятий в том числе и сроки выполнения хирургического вмешательства. В работу вошёл ретроспективный анализ течения заболевания 1300 пациентов с гнойно-воспалительными заболеваниями кожи и мягких тканей сопровождавшихся сепсисом, с учетом диагностических критериев концепции «Сепсис-3». Изучены закономерности развития ранних и поздних органических дисфункций. При этом установлено, что септическое поражение почек является наиболее частым клиническим проявлением сепсиса у данной категории пациентов.

*Ключевые слова:* сепсис, органическая недостаточность, шкала SOFA, хирургическая инфекция кожи и мягких тканей.

### Актуальность проблемы

Пациенты с гнойно-воспалительными заболеваниями кожи и мягких тканей являются основным контингентом отделений гнойной хирургии, являясь ведущей причиной хирургического сепсиса [1]. В рамках современной концепции основным критерием наличия у пациента сепсиса при инфекционной природе заболевания является развития органных дисфункций. Именно прогресс полиорганной недостаточности является основной причиной смерти летальных исходов среди пациентов с сепсисом [2]. Попытки внедрения лечебных мероприятий, направленных на коррекцию органной недостаточности, зачастую, или не показывают клинической эффективности или находятся на стадии проведения исследования [3,4,5]. Другим направлением в вопросах изучения сепсиса в последние годы становится поиск возможностей доклинической диагностики органных дисфункций, предикторов их развития и эффективности проводимого лечения. Успешное прогнозирование органной недостаточности при сепсисе с последующей коррекций проводимого лечения, по мнению, современных исследователей является одной из возможностей снижения летальности. При этом, установлено, что при различной локализации первичного очага при сепсисе, на первый план выходят различные клинические проявления органных дисфункций [6]. Так при лёгочной локализации, явления дыхательной недостаточности становятся превалирующими, при гнойном менингите поражение будет ведущим клиническим проявлением тяжести состояния больного соответственно, при абдоминальной локализации очага явления энтеральной недостаточности, при холангите на первый план выходит печёночная недостаточность.

Ввиду чего представляет интерес изучение особенностей характера органных нарушений у пациентов с тяжёлыми гнойно-воспалительными заболеваниями кожи и мягких тканей, осложнённых сепсисом.

### Материалы и методы

Изучены результаты лечения 1300 пациентов с хирургической инфекцией кожи и мягких тканей, которым на момент госпитализации, так и ретроспективно, согласно концепции, «Сепсис-3» (SOFA два балла и более) был установлен диагноз сепсис. В данную группу вошли больные, находившиеся на лечении в течение 2011–2023 годов в отделениях гнойной хирургии ГУЗ СГКБ №6 им. В.И. Кошелева, ГУЗ СГКБ №2 им. В.И. Разумовского, а также ГАУЗ «Энгельсская городская клиническая больница №1».

Критерием включения в группу явилось наличие гнойно-некротической инфекции кожи и мягких тканей, тяжесть состояния, оцененная по шкале SOFA два балла

и более, а при исходной органной дисфункции нарастание тяжести органной недостаточности в течение госпитализации на два и более баллов.

Критерий невключения — отсутствие явлений органной недостаточности.

Сравнительный анализ тяжести состояния проводили однократно на момент первой регистрации органных дисфункций.

Мужчины составили 542 человека — 42 %, женщины 758 — 58 %. Средний возраст пациентов составил  $62,5 \pm 10,8$  лет. Полученные данные анализировались в программе Medcalc 11.3. Использовали методы описательной статистики, для различий в структуре органных дисфункций у различных категорий пациентов использовали метод Хи-квадрат.

### Результаты

Нозологическая структура изучаемой группы пациентов представлена в таблице.

Таблица 1.

Нозологическая структура в группе

Основные нозологии	Число больных, n (%)
гнойно-некротические формы синдрома диабетической стопы (3 и более стадии по Wagner), влажные некрозы на фоне облитерирующих поражений артерий нижних конечностей	1090, (84 %)
тяжёлая неклостральная анаэробная инфекция (фасциит, мионекрозы, постинъекционные анаэробные флегмоны, флегмоны промежности и брюшной стенки, парапроктиты, инфицированные пролежни)	80, (6 %)
тяжёлая стрептококковая инфекция (некротические формы рожи, фасцииты)	130, (10 %)
итого	1300, (100 %)

Как видно из данных, представленных в таблице, подавляющее большинство пациентов, составили пациенты с гнойно-некротическими формами синдрома диабетической стопы и облитерирующим поражением артерий нижних конечностей. В целом пациенты с сахарным диабетом составили 73 % (949 пациентов).

При оценке сроков и характера органных дисфункций, мы выделяли ранние органные дисфункции (до двух недель с момента заболевания, в нашем исследовании зарегистрированные не позднее четвёртых суток с момента госпитализации), являющиеся следствием острой фазы системного воспаления, и поздние органные дисфункции (от 14 суток с момента заболевания), являющиеся

ся следствием тяжёлых структурных изменений в органах при длительно существующем воспалительном процессе. Ранние органые дисфункции отмечены нами в 68 % случаев (884 пациента), поздние в 32 % (416 случаях).

Ретроспективный анализ первично выявленных органых дисфункций наглядно показал различие в структуре у пациентов с сахарным диабетом и без него, кроме того, у многих пациентов уже изначально регистрировались полиорганые нарушения.

Частота различных органых дисфункций (согласно шкале SOFA) в группе у больных сахарным диабетом и без него представлена в таблице (табл. 2).

Таблица 2.

Структура ранних органых дисфункций в группе

Виды ранних органых дисфункций (недостаточностей), согласно критериям SOFA	Группа пациентов	
	страдавшие сахарным диабетом n, (%)	без сахарного диабета n, (%)
почечная	132 (22 %)	51 (18 %)
коаулопатия	66 (11 %)	6 (2 %)
сердечно-сосудистая	132 (22 %)	119 (42 %)
церебральная	24 (4 %)	–
дыхательная	54 (9 %)	42 (15 %)
печёночная	24 (4 %)	6 (2 %)
почечная и тромбоцитопения	24 (4 %)	12 (4 %)
почечная и сердечно-сосудистая	66 (11 %)	29 (1 %)
три и более недостаточности без почечной дисфункции	48 (8 %)	12 (4 %)
три и более дисфункции с почечной	30 (5 %)	7 (3 %)
всего	600 (100 %)	284 (100 %)

Из представленных данных мы видим, что наиболее часто в группе больных с хирургической инфекцией кожи и мягких тканей на момент госпитализации регистрируются явления сердечно-сосудистой недостаточности явления инфекционно-токсического (септического шока) и явления острого почечного повреждения (ОПП), являясь основными проявлениями сепсиса, как у пациентов с сахарным диабетом, так и без него. При этом у пострадавших с сахарным диабетом у же на момент поступления достоверно чаще выявлялись множественные органые дисфункции — у 168 и 60 пациентов соответственно ( $p < 0,05$ , критерий Хи-квадрат). При этом явления почечной недостаточности также достоверно чаще регистрировались в группе пациентов с сахарным диабетом — 252 и 54 пациента соответственно ( $p < 0,001$ ,

критерий Хи-квадрат), становясь 42 % и 19 % случаев соответственно, первичными проявлениями ранней органной недостаточности при сепсисе.

Клиническая структура поздних органых дисфункций представлена в таблице (табл. 3).

Таблица 3.

Структура поздних органых дисфункций в группе

Виды поздних органых дисфункций (недостаточностей), согласно критериям SOFA	Группа пациентов	
	страдавшие сахарным диабетом n, (%)	без сахарного диабета n, (%)
почечная	128 (40 %)	19 (20 %)
почечная и коагулопатия	32 (10 %)	8 (8 %)
печёночно-почечная	38 (12 %)	11 (12 %)
почечная и сердечно-сосудистая	32 (10 %)	26 (27 %)
три и более дисфункции с почечной	90 (28 %)	32 (33 %)
всего	320 (100 %)	96 (100 %)

Как видно из данных таблицы, несмотря на множество развивающихся вариантов органых дисфункций, явления почечной недостаточности как самостоятельного, так и в комплексе с другими патологическими состояниями регистрировались в 100 % случаев независимо от наличия сахарного диабета.

### Обсуждение

Ретроспективный анализ клинического течения обширных гнойно-некротических поражений кожи и мягких тканей с позиции органых дисфункций показывает высокую частоту развития сепсиса в данной группе пациентов, наблюдаемые клинические варианты органной недостаточности многообразны. Поскольку исследование носило ретроспективный характер, мы имели возможность отследить динамику появления органых дисфункций, при этом в качестве изучаемого явления нами оценивался ретроспективно лишь вариант впервые зафиксированной недостаточности, которая в дальнейшем у ряда пациентов принимала полиорганый характер, а в 30,8 % (400 случаях) уже первично регистрировались мультиорганые дисфункции. Однако при всем разнообразии клинических проявлений, которые во многом зависят от этиологического фактора, коморбидности пациента, сроков обращения за медицинской помощью уже при поступлении пациента мы сталкиваемся с явлениями септического шока и ОПП, а при развитии поздних органых нарушений ОПП выявляется у каждого пациента. Почки становятся условным «органом мишенью» для каждого звена в его патогенезе: непосредственной агрессии бактериальных токсинов и ци-

токинов, а также гиповолемических, ишемических и реперфузионных расстройств микроциркуляции. Поэтому именно фиксация у пациента ОПП становится ведущим диагностическим критерием сепсиса в рамках действующей дефиниции сепсиса.

### Выводы

Таким образом, изучение эффективности новых маркеров ОПП в доклинической диагностике почечной

дисфункции у пациентов с обширными гнойно-некротическими заболеваниями кожи и мягких тканей, а также эффективных путей коррекции ОПП, на наш взгляд, становится одним из приоритетных направлений исследований патогенеза и лечения сепсиса.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Duane T.M., Huston J.M. 2, Collom M. Surgical Infection Society 2020 Updated Guidelines on the Management of Complicated Skin and Soft Tissue Infections // *Surg. Infect.* (Larchmt). 2021.22(4):383–399. doi: 10.1089/sur.2020.436.
2. Багненко С.Ф., Байбарина Е.Н., Белобородов В.Б. и др. Сепсис: классификация, клиничко-диагностическая концепция и лечение (4-е издание, дополненное и переработанное) // Москва, 2017. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью «МИА-МЕД» — 406 с.
3. Bone R.C. Why sepsis trials fail. *JAMA*. 1996. 276(7):565–6.
4. Opal SM, Fisher C.J. Jr., Dhainaut J.F. et al. Confirmatory interleukin-1 receptor antagonist trial in severe sepsis: a phase III, randomized, double-blind, placebo-controlled, multicenter trial. The Interleukin-1 Receptor Antagonist Sepsis Investigator Group // *Crit Care Med*. 1997 Jul;25(7):1115–24. doi: 10.1097/00003246-199707000-00010.
5. Laterre P.F., Levy M.M., Wittebole X., Dugernier T., Francois B, Opal S.M. Should we continue to test soluble thrombomodulin, or other systemic anticoagulants, as a life-saving therapy for sepsis-induced coagulopathy? // *Anaesth Crit Care Pain Med*. 2019. 38(5):419–421. doi: 10.1016/j.accpm.2019.09.003.
6. De Backer D. et al. Surviving Sepsis Campaign Research Priorities 2023 // *Crit Care Med*. 2024. 52(2):268–296. doi: 10.1097/CCM.0000000000006135

© Дудник Андрей Анатольевич (andrushkahohol@yandex.ru); Урядов Сергей Евгеньевич (ouriadov@mail.ru); Каткова Екатерина Евгеньевна (kydrjshka2007@mail.ru); Стекольников Николай Юрьевич (nymph2008@yandex.ru); Имашев Алихан Саламатович (imashevalihan@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ЭНТЕРАЛЬНОГО ЗОНДОВОГО ПИТАНИЯ В КОМПЛЕКСНОЙ ТЕРАПИИ ТЯЖЕЛЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ

## THE POSSIBILITY OF USING NEW MIXTURES FOR ENTERAL TUBE FEEDING IN THE COMPLEX THERAPY OF SEVERE SURGICAL PATIENTS

**R. Idrisov**  
**I. Simakova**  
**S. Kapralov**  
**M. Polidanov**  
**V. Strizhevskaya**  
**A. Bucharskaya**

*Summary. Introduction.* It is known that early introduction of nutritional support is an important component of accelerated recovery program in surgery. For our country, the lack of our own unique technologies of specialized nutritional products is critical. In this connection, in the Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky a team of scientists-technologists and doctors-researchers developed and investigated the effectiveness of a new nutritional complex of oligomeric dry enteral nutrition mixtures in the complex therapy of severe surgical patients. *Purpose of the study.* To investigate the physiological and efficacy of a new nutritional complex of oligomeric dry enteral nutrition mixtures in complex therapy of heavy surgical patients with abdominal pathology in comparison with enteral nutrition mixtures containing dietary fiber. *Materials and methods of research.* The study of the characteristics of the developed mixtures was carried out by standard and non-standard methods in an accredited laboratory, clinical studies — in accordance with the Procedure for conducting studies of the effectiveness of specialized dietary therapeutic and dietary preventive food products. Statistical processing was performed using analysis of variance. *Results.* The proposed new nutritional complex of oligomeric dry enteral nutrition mixtures has a higher nutritional value and caloric content, lower osmolality and pH of the corresponding gastric chyme, which indicates its physiologicity and ability to better absorption. According to the results of clinical studies, the new enteral nutrition mixtures have been proven to be effective and have better performance compared to enteral nutrition mixtures containing dietary fiber. *Conclusion.* We believe that the results of the study of daily nutritional complex of oligomeric dry enteral nutrition mixtures are in agreement with the literature data, will successfully supplement the scientific data on the necessity of nutritional support and will play an important role in improving the quality of treatment of severe postoperative patients with abdominal pathologies. In addition, substitution of imported analogs will allow to achieve import-independence and reduce the number of lethal cases.

*Keywords:* enteral nutrition mixtures, effectiveness of nutritional support, surgical patient.

**Идрисов Рейзудин Имамудинович**  
Аспирант, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный  
медицинский университет им. В.И. Разумовского»  
Минздрава России

**Симакова Инна Владимировна**  
д.т.н., профессор, директор Высшей школы  
биотехнологии пищевых систем, директор научно-  
производственного центра технологий здорового  
питания, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный  
медицинский университет им. В.И. Разумовского»  
Минздрава России

**Капралов Сергей Владимирович**  
д.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Саратовский  
государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России

**Полиданов Максим Андреевич**  
Специалист, ассистент,  
Университет «Реавиз», Санкт-Петербург  
maksim.polidanoff@yandex.ru

**Стрижевская Виктория Николаевна**  
к.т.н., доцент, старший научный сотрудник,  
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России

**Бучарская Алла Борисовна**  
к.б.н., доцент, руководитель ЦКП экспериментальной  
онкологии, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный  
медицинский университет им. В.И. Разумовского»  
Минздрава России

*Аннотация. Введение.* Известно, что раннее введение нутриционной поддержки является важным компонентом программы ускоренного восстановления в хирургии. Для нашей страны критично отсутствие собственных уникальных технологий специализированных продуктов питания. В связи с чем, в Саратовском государственном медицинском университете имени В.И. Разумовского коллективом ученых-технологов и врачей-исследователей разработана и исследована эффективность нового нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания в комплексной терапии тяжелых хирургических пациентов. *Цель исследования.* Исследование физиологичности и эффективности нового нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания в комплексной терапии тяжелых хирургических пациентов с абдоминальной патологией в сравнении со смесями для энтерального питания, содержащими пищевые волокна. *Материалы и методы исследования.* Исследование характеристик разработанных смесей проводили стандартными и нестандартными методами в аккредитованной лаборатории, клинические исследования — в соответствии с Порядком проведения исследований эффективности специализированной диетической лечебной и диетической профилактической пищевой продукции. Статистическая обработка проводилась с применением дисперсионного анализа. *Результаты.* Предлагаемый новый нутриционный комплекс олигомерных сухих смесей энтерального питания имеет более



## Введение

**Н**утриционная поддержка тяжелых хирургических пациентов является профилактической терапевтической стратегией, которая снижает тяжесть болезни и летальность, уменьшает количество осложнений, сроки пребывания в ОРИТ и длительность общего лечения в стационаре [1,2,3]. Известно, что достичь этих целей можно с помощью смесей для энтерального питания специального состава, учитывающего особенности трех составляющих двухфазного стрессорного ответа: метаболического, иммунного (воспалительного), кишечного.

Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского имеет собственные разработки энтеральных смесей на основе отечественного сырья, уникальные по технологии, отличные от западных производств, без применения отдельных (изолированных) компонентов, более физиологичные и экономически целесообразные. Разработаны технологии олигомерных энтеральных смесей для нутриционной поддержки тяжелых хирургических пациентов с абдоминальной патологией.

## Цель исследования

Исследование физиологичности и эффективности нового нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания в комплексной терапии тяжелых хирургических пациентов с абдоминальной патологией в сравнении со смесями для энтерального питания, содержащими пищевые волокна.

## Материалы и методы

При проведении данного исследования внутри ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России осуществлялось межструктурное взаи-

высокую пищевую ценность и калорийность, более низкую осмоляльность и рН соответствующий химуса желудка, что указывает на его физиологичность и способность к лучшему усвоению. По результатам клинических исследований доказана эффективность новых смесей энтерального питания, и их лучшая результативность по сравнению со смесями для энтерального питания, содержащими пищевые волокна. *Заключение.* Считаем, что результаты исследования суточного нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания находятся в согласии с литературными данными, успешно дополняют научные данные о необходимости нутриционной поддержки и будут играть важную роль в повышении качества лечения тяжелых послеоперационных пациентов с абдоминальными патологиями. Помимо этого, замещение импортных аналогов, позволит достичь импортонезависимости и сократить количество летальных случаев.

*Ключевые слова:* смеси для энтерального питания, эффективность нутриционной поддержки, хирургический пациент.

модействие между кафедрой факультетской хирургии и онкологии, проводившей клинические исследования и научно-производственным центром технологий здорового питания (НПЦ ТЗП) — разработчиком и производителем нового нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания в комплексной терапии тяжелых хирургических пациентов с абдоминальной патологией, в соответствии с разработанной уникальной технологией.

Исследование характеристик (содержание белков, жиров, углеводов) суточного нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания проводилось общепринятыми методами в аккредитованной Испытательной лаборатории пищевых продуктов и продовольственного сырья ЭТИ (филиал) СГТУ им. Гагарина Ю.А. Осмоляльность определяли на осмометре криоскопического модели 3250, Osmol (производство США), кислотность — на портативном рН-метре (производство Китай) на базе лабораторий Саратовского ГМУ им. В.И. Разумовского [9].

Клинические исследования эффективности нового нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания проводились в соответствии с Порядком проведения исследований эффективности специализированной диетической лечебной и диетической профилактической пищевой продукции, разработанного ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (Методические указания) (Министерство здравоохранения, 2016 г.).

Исследование было одобрено решением локального комитета по этике ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского (Рекомендации комитета по этике ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России от 06.07.2023 года (версия протокола 1.0).

В исследование были включены 80 пациентов, госпитализированных с тяжелой хирургической или онкологической патологией, находящихся на зондовом питании. Пациенты случайным образом были разделены на две группы: исследовательская группа из 46 человек (сопоставимых по возрасту и полу, получающих специализированный продукт для зондового кормления, разработанный НПЦ ТЗП) и контрольная группа из 34 человек (сопоставимых по возрасту и полу, и получающих стандартный (имеющийся в наличии в клинике) продукт для зондового питания, содержащий в своем составе пищевые волокна (аналогичный продукту в группе 1) со стандартным содержанием основных веществ из расчета общего суточного потребления 30–35 ккал / кг / день и 1,2–1,5 г белка / кг массы тела / день согласно рекомендациям по нутритивной поддержке больных).

Пациенты должны соответствовать всем следующим критериям для включения в исследование:

1. Пол: мужчины и женщины
2. Возраст: от 21 до 87 лет (взрослый), давшие согласие на включение в исследования
3. Установленный клинический диагноз перитонита и/или послеоперационной кишечной непроходимости в течение менее 3 суток с момента появления симптомов, рак желудка, рак пищевода, рак поджелудочной железы, острый панкреатит, хронический панкреатит.
4. Статус общего состояния: тяжелое, среднетяжелое.
5. Информированное согласие на участие в исследовании.
6. Нарушения нутритивного статуса любой степени выраженности.

Пациент не может быть включен в исследование или должен быть исключен из исследования, если соответствует хотя бы одному из нижеприведенных критериев не включения/исключения:

1. Индивидуальная непереносимость компонентов исследуемой нутритивной смеси.
2. Беременность.
3. Кормление грудью.
4. Нарушения углеводного обмена (нарушение толерантности к углеводам, сахарный диабет).
5. Известное психическое заболевание с утратой дееспособности.
6. Любое клинически тяжелое или значительное неконтролируемое сопутствующее заболевание, которое, по мнению исследователя, может повлиять на способность дать информированное согласие или принять участие в этом клиническом исследовании или завершить его.
7. Известная или предполагаемая непереносимость или повышенная чувствительность к исследуемому продукту, близкородственным соединениям или любому из указанных ингредиентов.

8. Пациенты, с которыми, по мнению исследователя, затруднен продуктивный контакт, например — пациенты с когнитивным дефицитом и деменцией.
9. Терминальное состояние (ожидаемая продолжительность жизни, по мнению лечащего врача, менее 24 часов).
10. Участие в другом клиническом исследовании.

Критерии исключения пациента из исследования: отказ от дальнейшего участия в исследовании, индивидуальная непереносимость энтерального питания, миграция кишечного зонда с невозможностью его повторной установки.

Основания для прекращения исследования у пациента:

1. Если в ходе исследования врачом-исследователем будут выявлены у пациента события, соответствующие хотя бы одному критерию не включения/исключения, такой пациент должен быть им исключен из исследования;
2. Ухудшение состояния пациента, требующего его перевод на парентеральное питание;
3. Перевод пациента в другой стационар;
4. Осложнения, которые могли быть вызваны продуктом зондового питания;
5. Выбывание по причине, связанной с безопасностью: если причиной исключения пациента из исследования является нежелательное явление (НЯ) или патологическое отклонение в результате лабораторного анализа, это конкретное явление или анализ следует указать в Отчете о нежелательных явлениях. Если пациент выбывает из исследования по причине НЯ, исследователь должен приложить все усилия для четкого указания его исхода.
6. Отказ пациента (его законного представителя) от дальнейшего участия в исследовании или оказания медицинской помощи. При этом, исключение пациента из исследования не должно влиять на характер проводимой ему терапии.
7. Смерть пациента.

Пациенты для включения в исследование отбирались по критериям включения, при их согласии на участие с подписанным «Информированным добровольным согласием на участие в клиническом исследовании», которым было показано оперативное лечение по основному заболеванию. Идентификационный номер присваивался по номеру истории болезни пациента.

Суточный нутриционный комплекс олигомерных сухих смесей энтерального питания вводился в двенадцатиперстную кишку или начальные отделы тонкой кишки с помощью назогастроинтестинального зонда, установленного интраоперационно. Для исследовательской группы пациентов использовался ручной метод актив-

ного порционного (болюсного) введения питательной смеси. Осуществляется порционно при помощи шприца Жане. При этом однократный объем для желудка и тонкой кишки не должен превышать 200 мл через 3–4 ч, вводится медленно в течение 15–20 минут.

Напротив, питательную смесь, содержащую в своем составе пищевые волокна вводили с помощью инфузионной системы капельно со скоростью 5–10 мл/мин через перфузионный канал зонда.

Статистический анализ данных проводился методами медико-биологической статистики. Для тестирования значимости различий нормально распределенных данных использовались соответствующие разновидности дисперсионного анализа. В случае распределения, отличного от нормального, использованы тесты Вилкоксона и Колмогорова-Смирнова. Для тестирования значимости различий категориальных данных использованы тест хи-квадрат или точный тест Фишера. Анализ первичных и вторичных конечных точек проведен для полного набора данных (ITT, intention-to-treat — по намерению лечить).

### Результаты исследования

Суточный нутриционный комплекс олигомерных сухих смесей энтерального питания разработан по принципу физиологического восприятия питания организмом человека с адекватным распределением калорийности суточного рациона по привычным приемам кормления, позволяющего обеспечить лабильный контроль метаболического стресса (завтрак, обед, полдник и ужин). Предполагается, что в утренние и послеобеденные

часы организм снабжается микробиомформирующими и иммуноактивными компонентами пищи для снижения провоспаления и ферментативной недостаточности, обеденное и вечернее кормление, восполняя дефицит полноценного белка, нивелирует гиперметаболизм.

Технология сухих смесей энтерального питания, разработанная НПЦ ТЗП, основана на применении натурального диетического гипоаллергенного отечественного сырья, комбинируемого в соответствие с правилами пищевой комбинаторики и технологии приготовления блюд для диетического лечебного питания, переведенных в полуэлементное состояние с применением энзимных технологий с последующим обезвоживанием.

Характеристика суточного нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания, разработанных НПЦ ТЗП представлена в таблице 1.

Сравнительная характеристика суточного нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания, разработанных НПЦ ТЗП и продукта для зондового питания, содержащего в своем составе пищевые волокна, представлена в таблице 2.

Было подтверждено, что суточный нутриционный комплекс олигомерных сухих смесей энтерального питания, разработанный НПЦ ТЗП, по сравнению с продуктом для зондового питания, содержащим в своем составе пищевые волокна, имеет более высокую калорийность и более низкую осмоляльность, что указывает на то, что суточный нутриционный комплекс олигомерных сухих смесей энтерального питания, разработанный НПЦ ТЗП, не будет приводить к осложнениям со стороны

Таблица 1.

Характеристика суточного нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания

Суточный нутриционный комплекс олигомерных сухих смесей энтерального питания					Осмоляльность, мОсм/кг H <sub>2</sub> O	Ph
Кратность питания	Пищевая и энергетическая ценность					
	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, ккал		
Утреннее кормление (завтрак)	7,3	3,7	25,8	165,5	494	4
Обеденное кормление (обед)	23,7	2,9	10,3	161,5	438	4
Послеобеденное кормление (полдник)	7,1	7,5	26,2	164,9	362	3,8
Вечернее кормление (ужин)	19,8	2,64	14,3	160,3	432	4
Итого	57,9	16,7	76,6	652,2	Среднее 431,5	4
Каждая порция смеси для кормления разводится 150 мл воды с t 40–42° С						
4-х кратное кормление обеспечивает 1 мл/1,1 ккал (9,7 г белка/ 108,7 ккал /100 мл)						
В зависимости от состояния пациента, его веса и при условии недостаточности 4-кратного применения смеси для восполнения потребности в питании, пациент будет получать дополнительный прием кормления						

Таблица 2.

Сравнительная характеристика суточного нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания GASTROAUXILIUM, разработанных НПЦ ТЗП и продукта для зондового питания, содержащего в своем составе пищевые волокна

№	Наименование смеси	Пищевая и энергетическая ценность				Осмольность, мОсм/кг H <sub>2</sub> O	Ph
		Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, ккал		
1	суточный нутриционный комплекс олигомерных сухих смесей энтерального питания, разработанный НПЦ ТЗП	57,9	16,7	76,6	652,2	431,5	4
2	продукт для зондового питания, содержащий в своем составе пищевые волокна (аналогичный продукту в группе 1)	50	16	64,5	610	740	6,7

желудочно-кишечного тракта и способствовать возникновению осмотической диареи у больного и исключить возможные осложнения.

Следует отметить, что компании-производители полуэлементного энтерального питания не указывают рН своих продуктов. Однако, с физиологической точки зрения и физиологии пищеварения рН может являться важным фактором в усвоении энтерального питания организмом послеоперационного больного. Так, рН суточного нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания, разработанный НПЦ ТЗП, в отличие от своего аналога, соответствует рН химуса желудка, который эвакуируется в 12-ти перстную кишку и верхние отделы тонкого кишечника и имеет рН от 4 до 5,6. Таким образом, суточный нутриционный комплекс олигомерных сухих смесей энтерального питания, разработанный НПЦ ТЗП, по данному показателю более физиологичен.

Нутриционный комплекс олигомерных сухих смесей энтерального питания имеет также микробиомформирующий эффект за счет высокой антиоксидантной активности, противовоспалительного и антиканцерогенного воздействия за счет наличия натуральных полифенолов, антоцианов, аскорбиновой кислоты, витаминов группы Р. Пищевое сырье, используемое при его производстве, является гипоаллергенным, диетическим, с низким гликемическим индексом, безглютеновым.

### Обсуждение

Как при проведении обширных травматических операциях, так и при малоинвазивных, пациенты подвергаются операционному стрессу [4]. Хирургический стресс является основной причиной периоперационной дисфункции различных органов и систем. Ряд публикаций указывает на то, что в зависимости от вида патологии, белково-энергетическая недостаточность развивается у 20–50 % хирургических больных непосредственно в стационаре в раннем послеоперационном периоде [5]. Достоверно установлена взаимосвязь степени вы-

раженности БЭН и частотой неблагоприятных исходов у пациентов в критическом состоянии, подвергшихся хирургическому вмешательству [6]. Рекомендуются раннее начало энтерального питания [7,8]. Стандартная полисубстратная изокалорическая энтеральная диета является базовой для начала энтерального питания.

Последние три десятилетия в нашей стране широко применялись энтеральные формулы зарубежного производства, нутриентный состав которых известен, производится путем смешивания отдельных нутриентов, полученных на высокотехнологичном оборудовании, собираясь, как пищевой конструктор по заданной пищевой ценности.

Разработанный специалистами научно-производственного центра технологий здорового питания Саратовского ГМУ им. В.И. Разумовского специализированный пищевой продукт для зондового питания имеет отличные от зарубежных технологических решений, основанные на принципах пищевой комбинаторики натуральных отечественных пищевых продуктов, энзимных технологиях и процессах ИК-обезвоживания. Такие технологические решения являются импортонезависимыми, экономически целесообразными и физиологически обоснованными.

Наиболее важными являются, по нашему мнению, следующие конечные точки. В исследовательской группе по сравнению с контрольной группой в среднем статистически достоверно на 2 дня продолжительность разрешения пареза была меньше. В качестве местного осложнения жидкий стул наблюдался у 3 пациентов из 46 пациентов (6,5 %) исследовательской группы, у 28 пациентов из 34 пациентов контрольной группы (82,4 %). В качестве общего осложнения диарея не наблюдалась у пациентов исследовательской группы, у пациентов контрольной группы диарея была частым явлением и наблюдалась в 18 случаях из 34 (52,9 %). Изменения показателей крови (мочевина, общий белок, альбумин) были статистически значимы, что доказывает успешное устранение белково-энергетической недостаточности

пациентов исследовательской группы по сравнению с контрольной.

### Заключение

Считаем, что результаты исследования суточного нутриционного комплекса олигомерных сухих смесей энтерального питания находятся в согласии с литера-

турными данными, успешно дополняют научные данные о необходимости нутриционной поддержки и будут играть важную роль в повышении качества лечения тяжелых послеоперационных пациентов с абдоминальными патологиями. Кроме того, замещение импортных аналогов, позволит достичь импортнезависимости и сократить количество летальных случаев.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Луфт В.М., Лапицкий А.В. Протоколы нутриционной поддержки больных (пострадавших) в интенсивной медицине. Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, Северо-Западная ассоциация парентерального и энтерального питания. СПб.: 2017, 99 с.
2. Singer P, Blaser A.R., Berger M.M., et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. Clin Nutr. 2019, Vol.38, №1, pp. 48–79.
3. Jordan EA, Moore SC. Enteral nutrition in critically ill adults: Literature review of protocols. Nurs Crit Care. 2020; Vol.25, №1, pp. 24–30.
4. Мынка Н.В. Операционный стресс-ответ в малоинвазивной хирургии. МНС. 2020, Т.16, №6, С. 116–120.
5. Луфт В.М. Руководство по клиническому питанию. СПб: Арт-Экспресс. 2016, 491 с.
6. Gillis C., Wischmeyer P.E. Pre-operative nutrition and the elective surgical patient: why, how and what? Anaesthesia. 2019; №74, pp. 27–35.
7. Wernerman J, Christopher KB, Annane D, et al. Metabolicsupportinthecriticallyill: a consensus of 19. Crit Care. 2019, №23, pp. 1–10
8. Weimann A, Braga M, Carli F, et al. ESPEN practical guideline: Clinical nutrition in surgery. Clin Nutr. 2021, Vol.40, №7, pp. 4745–4761.
9. Идрисов Р.И., Симакова И.В., Капралов С.В., Полиданов М.А., Стрижевская В.Н., Кривошеев С.И., Симакова М.А., Бучарская А.Б., Волков К.А., Пашутина В.Д., Егорова Л.В., Высоцкий Л.И., Абрамов А.М. Возможность применения энтерального зондового питания при тяжелой хирургической патологии. Пермский медицинский журнал. 2024; 41 (5): 88–102.

© Идрисов Рейзудин Имамудинович; Симакова Инна Владимировна; Капралов Сергей Владимирович;  
Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru); Стрижевская Виктория Николаевна; Бучарская Алла Борисовна  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЧАСТОТА ВСТРЕЧАЕМОСТИ АППЕНДИКУЛЯРНОГО ИНФИЛЬТРАТА ПРИ ОСТРОМ АППЕНДИЦИТЕ

## INCIDENCE OF APPENDICULAR INFILTRATE IN ACUTE APPENDICITIS

**V. Maslyakov**  
**M. Polidanov**  
**E. Sulaev**  
**S. Kapralov**  
**A. Prokhnitsky**  
**D. Safronov**

*Summary.* The medical and social significance of the problem of acute appendicitis is due to its high prevalence. Appendicular infiltrate formation complicates the course of acute appendicitis in 3–5 % of cases.

*Purpose of the study.* To determine the frequency of appendicular infiltrate in acute appendicitis. *Material and methods of the study.* The base for the study was the City Clinical Hospital No. 1 in Engels. A continuous retrospective study of 1300 patients admitted to the emergency surgery department with the diagnosis of «acute appendicitis» from 2010 to 2023 was carried out. The average age of the patients was  $35 \pm 6$  years. Diagnosis of the disease was based on the data of anamnesis, clinical examination, laboratory data and ultrasound examination (USG) of the abdominal cavity organs. The  $\chi^2$  criterion of agreement was chosen for the statistical study. Statistical significance was defined as  $p < 0.05$ . Spearman's nonparametric test ( $r$ ) was used to establish correlations. *Results of the study.* The analysis revealed that out of 1300 patients admitted to the emergency surgery department with the diagnosis of «acute appendicitis», appendicular infiltrate was detected in 564 (43.3 %) people. The maximum number of cases with appendicular infiltrate, both in the group of men and in the group of women fell within 12 hours from the onset of the disease. As the study shows, loose infiltrate prevailed in our observations — 380 (29.7 %) observations. *Conclusions.* Thus, in the course of the study it was found out that complication of acute appendicitis with the formation of AI occurs in 43.3 % of observations. At the same time, friable infiltrate prevails most often, with complications developing in 16.1 % of observations. Formation of appendicular abscess with dense infiltrate occurs in 4.6 % of cases.

*Keywords:* abdominal surgery, acute appendicitis, appendectomy, appendicular infiltrate, incidence, medical and social problem.

**Масляков Владимир Владимирович**

д.м.н., профессор,  
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России;  
Медицинский университет «Реавиз», г. Саратов  
maslyakov@inbox.ru

**Полиданов Максим Андреевич**

специалист научно-исследовательского отдела,  
ассистент, Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург  
maksim.polidanoff@yandex.ru

**Сулаев Егор Владимирович**

Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург

**Капралов Сергей Владимирович**

д.м.н., доцент,  
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России  
sergejkapralov@yandex.ru

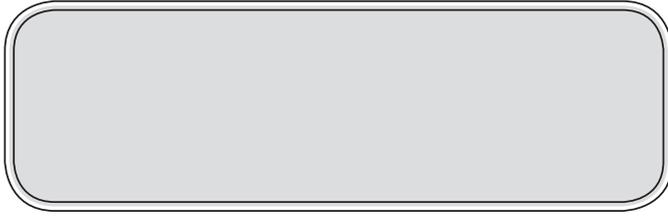
**Прохницкий Алексей Валерьевич**

к.м.н., ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского»  
Минздрава России

**Сафронов Дмитрий Валентинович**

к.м.н., ассистент, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России

*Аннотация.* Медико-социальная значимость проблемы острого аппендицита обусловлена его высокой распространенностью. Формирование аппендикулярного инфильтрата осложняет течение острого аппендицита в 3–5 % случаев. *Цель исследования.* Определение частоты встречаемости аппендикулярного инфильтрата при остром аппендиците. *Материал и методы исследования.* Базой для проведения исследования явилась городская клиническая больница №1 г. Энгельса. Проведено сплошное ретроспективное исследование 1300 пациентов, поступивших в отделение экстренной хирургии с диагнозом «острый аппендицит» с 2010 г. по 2023 г. Средний возраст пациентов составил  $35 \pm 6$  лет. Диагностика заболевания основывалась на данных анамнеза, клинического осмотра, лабораторных данных и данных ультразвукового обследования органов брюшной полости. Для проведения статистического исследования был выбран критерий согласия  $\chi^2$ . Статистическая значимость определялась как  $p < 0,05$ . Для установления корреляционных связей был использован непараметрический критерий Спирмена ( $r$ ). *Результаты исследования.* В результате проведенного анализа установлено, что из 1300 пациентов, поступивших в отделение экстренной хирургии с диагнозом «острый аппендицит», аппендикулярный инфильтрат был выявлен у 564 (43,3 %) человек. Максимальное количество случаев с аппендикулярным инфильтратом, как в группе мужчин, так и в группе женщин пришлось на 12 часов от момента начала заболевания. Как показывает проведенное исследование, в наших наблюдениях преобладал рыхлый инфильтрат — 380 (29,7 %) наблюдений. *Выводы.* Таким образом, в ходе проведенного исследования, было выяснено, что осложнение острого аппендицита с формированием АИ происходит в 43,3 % наблюдениях.



## Введение

**П**од аппендикулярным инфильтратом (АИ) понимают формирование вокруг воспаленного червеобразного отростка конгломерата из большого сальника, тонкой и слепой кишки, париетальной брюшины [1–3]. В целом, формирование АИ носит целесообразный для организма характер, так как только в случае полного отграничения отростка от свободной брюшной полости может наступить самопроизвольное выздоровление при деструктивном аппендиците [4–6]. Формирование АИ осложняет течение острого аппендицита в 3–5 % случаев [7–9].

## Цель исследования

Определение частоты встречаемости аппендикулярного инфильтрата при остром аппендиците.

## Материал и методы

Базой для проведения исследования явилась городская клиническая больница №1 г. Энгельса. Проведено сплошное ретроспективное исследование 1300 пациентов, поступивших в отделение экстренной хирургии с диагнозом «острый аппендицит» с 2010 г. по 2023 г. Средний возраст пациентов составил  $35 \pm 6$  лет, женщин было 500 (38,6 %) человек, мужчин — 800 (61,5 %) человек. Критериями включения явились наличие признаков острого аппендицита, подтвержденного клиническими и лабораторными данными, давшие свое согласие на участие в исследовании, в возрасте от 18 до 45 лет. Критериями исключения: отказ от участия в исследовании, возраст старше 45 лет, наличие сопутствующей патологии или признаков перитонита.

Диагностика заболевания основывалась на данных анамнеза, клинического осмотра, лабораторных данных и данных ультразвукового обследования (УЗИ) органов брюшной полости.

АИ разделяли на:

- Рыхлый — разделение инфильтрата тупым путем без травматизации органов, входящих в его состав, возможно, аппендэктомия технически выполнима.
- Плотный — в этом случае воспалительный АИ невозможно разделить тупым путем. В случае

При этом, чаще всего преобладает рыхлый инфильтрат, при котором осложнения развиваются в 16,1 % наблюдениях. Формирование аппендикулярного абсцесса при плотном инфильтрате происходит в 4,6 % случаях.

*Ключевые слова:* абдоминальная хирургия, острый аппендицит, аппендэктомия, аппендикулярный инфильтрат, частота встречаемости, медико-социальная проблема.

«острого» разделения инфильтрата имеется риск перфорации входящей в инфильтрат тонкой или слепой кишки. В этом случае разделение инфильтрата категорически противопоказано.

Для проведения математической обработки полученных в результате исследования данных, они регистрировались в специально созданной базе данных в виде табличных данных формата Excel. Для проведения статистического исследования был выбран критерий согласия  $\chi^2$ . Статистическая значимость определялась как  $p < 0,05$ . Для установления корреляционных связей был использован непараметрический критерий Спирмена ( $r$ ). Трактовка полученных результатов с использованием данного критерия, осуществлялась с учетом силы связи:  $r > 0,01-0,29$  — слабая положительная связь,  $r > 0,30-0,69$  — умеренная положительная связь,  $r > 0,70-1,00$  — сильная положительная связь. На проведение исследования было получено положительное заключение локального этического комитета частного учреждения образовательная организация высшего образования «Медицинский университет «Реавиз».

## Результаты

В результате проведенного анализа установлено, что из 1300 пациентов, поступивших в отделение экстренной хирургии с диагнозом «острый аппендицит», АИ был выявлен у 564 (43,3 %) человек. При этом мужчин было 317 (24,3 %), женщин — 247 (19,0 %) ( $r = 0,76$ ,  $p < 0,05$ ). Распределение пациентов по времени от начала заболевания отражено на рис. 1.

На основании данных, представленных на рис. 1 видно, что максимальное количество случаев с АИ, как в группе мужчин, так и в группе женщин пришлось на 12 часов от момента начала заболевания, соответственно, 71 (5,4 %) — у мужчин и 61 (4,6 %) — у женщин ( $r = 0,12$ ,  $p > 0,05$ ). Затем идет 24 часа, 63 (4,8 %) и 53 (4,0 %), соответственно ( $r = 0,10$ ,  $p > 0,05$ ). На третьем месте — 72 часа, 54 (4,1 %) и 41 (3,1 %) соответственно ( $r = 0,16$ ,  $p > 0,05$ ).

В этом аспекте вызывает определенный интерес сформированность АИ, т.к. от этого зависит выбор тактики лечения. Как показывает проведенное исследование, в наших наблюдениях преобладал рыхлый инфильтрат — 380 (29,7 %) наблюдений, тогда как плотный был

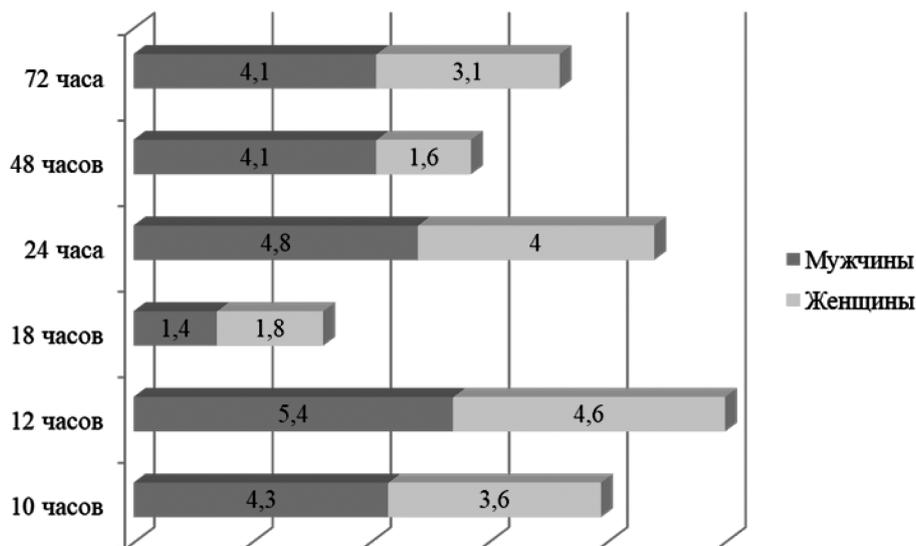


Рис. 1. Распределение пациентов по времени от начала заболевания (%)

выявлен в 184 (14,1 %) случаев. Распределение по половому признаку отражены на рисунке 2.

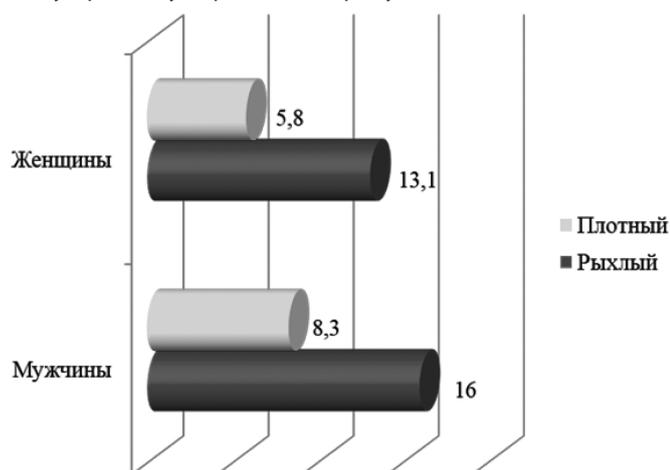


Рис. 2. Распределение АИ по половому признаку (%)

На основании данных, отраженных на рис. 2, видно, что в группе женщин рыхлый АИ был выявлен в 171 (13,1 %) случаях, в группе мужчин — в 209 (16,0 %) наблюдениях ( $r = 0,54$ ,  $p < 0,05$ ). Соответственно плотный АИ, в группе женщин — в 76 (5,8 %) наблюдениях, в группе мужчин — в 108 (8,3 %) ( $r = 0,63$ ,  $p < 0,05$ ). Рыхлый инфильтрат был выявлен при выполнении хирургического лечения, при этом операция заключалась в разъединении инфильтрата и аппендэктомии. Считаем необходимым отметить, что в подавляющем большинстве наблюдений аппендэктомия выполнялась с техническими сложностями, что удлиняло время ее выполнения, заканчивалась дренированием брюшной полости в правой подвздошной области.

Наличие плотного АИ являлось показанием для консервативной терапии.

Как показал дальнейший анализ, течение ближайшего послеоперационного периода у пациентов с рыхлым АИ в 210 (16,1 %) случаях отягощалась развитием осложнений. Основные осложнения были связаны с нагноением послеоперационной раны, не смотря на введение антибиотиков, начиная с первых послеоперационных суток.

При плотном АИ эффект от консервативной терапии был достигнут в 124 (9,5 %) случаях, соответственно, у мужчин — в 92 (7,0 %) наблюдениях, в группе женщин — в 32 (4,6 %) ( $r = 0,61$ ,  $p < 0,05$ ). В остальных, 60 (4,6 %) случаях, в 16 (1,2 %) у мужчин и в 44 (3,3 %) у женщин ( $r = 0,67$ ,  $p < 0,05$ ) произошло формирование абсцесса, что потребовало вскрытия и дренирования гнойника.

### Обсуждение

Проведенные исследования показывают, что осложнения острого аппендицита — образование АИ встречается в 43,3 % наблюдениях, при этом статистически достоверной разницы по половому признаку получено не было. Нами установлено, что максимальное количество случаев с АИ, как в группе мужчин, так и в группе женщин пришлось на 12 часов от момента начала заболевания, соответственно, 5,4 % — у мужчин и 4,6 % — у женщин ( $r = 0,12$ ,  $p > 0,05$ ). Было также выяснено, что в наших наблюдениях преобладал рыхлый инфильтрат — 29,7 % наблюдений, тогда как плотный был выявлен в 14,1 % случаев. Рыхлый АИ был выявлен при хирургическом вмешательстве, при этом в ближайшем послеоперационном периоде у пациентов с рыхлым АИ в 16,1 % случаях отягощалась развитием осложнений. Основные осложнения были связаны с нагноением послеоперационной раны, не смотря на введение антибиотиков, начиная с первых послеоперационных суток.

При плотном АИ эффект от консервативной терапии был достигнут в 9,5 % случаях. В остальных, 4,6 % случаях произошло формирование абсцесса, что потребовало вскрытия и дренирования гнойника.

### Заключение

Таким образом, в ходе проведенного исследования, было выяснено, что осложнение острого аппендицита

с формированием АИ происходит в 43,3 % наблюдениях. При этом, чаще всего преобладает рыхлый инфильтрат — 29,7 % наблюдений, тогда как плотный был выявлен в 14,1 % случаев. В ближайшем послеоперационном периоде при рыхлом инфильтрате осложнения развиваются в 16,1 % наблюдениях. Формирование аппендикулярного абсцесса при плотном инфильтрате происходит в 4,6 % случаях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Клиническая хирургия: национальное руководство: в 3 т. / под ред. В.С. Савельева, А.И. Кириенко. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2009; 2: 103–141.
2. Pearl J., Price R., Richardson W., Fanelli R. Society of American Gastrointestinal Endoscopic Surgeons (SAGES) Guidelines for diagnosis, treatment, and use of laparoscopy for surgical problems during pregnancy. *Surg Endosc.* 2011; 25: 3479–3492.
3. Eyvazzadeh A.D., Levine D. Imaging of pelvic pain in the first trimester of pregnancy. *Radiologic clinics of North America.* 2006; 44: 863–877
4. Kennedy A. Assessment of acute abdominal pain in the pregnant patient. *Seminars in ultrasound, CT, and MR.* 2000; 21: 64–77
5. Toppenberg K.S., Hill D.A., Miller D.P. Safety of radiographic imaging during pregnancy. *Am Fam Physician.* 1999; 59: 1813–1820.
6. Moore C., Promes S.B. Ultrasound in pregnancy. *Emergency medicine clinics of North America.* 2004. 22: 697–722.
7. Lim H.K., Bae S.H., Seo G.S. Diagnosis of acute appendicitis in pregnant women: value of sonography. *Ajr.* 1992; 159: 539–542.
8. Osei E.K., Faulkner K. Fetal doses from radiological examinations. *The British journal of radiology.* 1999; 72: 773–780.
9. Полиданов М.А., Волков К.А., Масляков В.В., Барулина М.А., Паршин А.В., Сухой Д.В., Высоцкий Л.И., Дягель А.П., Мезилов Г.Г., Марченко В.С., Кудашкин В.Н. Возможности использования алгоритмов градиентного бустинга для прогнозирования осложнений у пациентов с хирургическим перитонитом. *Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал).* 2024; 8 (3): 5–13.

© Масляков Владимир Владимирович (maslyakov@inbox.ru); Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru); Сулаев Егор Владимирович; Капралов Сергей Владимирович (sergejkapralov@yandex.ru); Прохницкий Алексей Валерьевич; Сафронов Дмитрий Валентинович  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРА РЕЕК В ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ХИРУРГИИ И СТОМАТОЛОГИИ: РЕАЛИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)<sup>1</sup>

## THE REALITIES AND PROSPECTS OF USING PEEK POLYMER IN MAXILLOFACIAL SURGERY AND DENTISTRY: A LITERATURE REVIEW

**S. Mustafayeva**  
**M. Mustafayev**  
**F. Mustafayeva**  
**I. Gabuyev**  
**A. Vorokov**  
**F. Dyshekova**

*Summary. Relevance.* The main applications of polymers in medicine include a wide range of areas where these materials can be used to create various medical devices and implants. Among such polymers, a special place is occupied by polyetheretherketone (PEEK), a high-performance thermoplastic polymer. Its physico-chemical properties, such as high strength, corrosion resistance, biostability and biocompatibility, make it a promising material for the creation of implants, prostheses, abutments and other medical devices.

*The purpose of the study.* To analyze the feasibility of using and determine the direction of further study of the PEEK polymer as a material for the manufacture of prostheses, implants and other devices used in maxillofacial, reconstructive facial surgery, dentistry and oral surgery.

*Materials and methods.* The article provides a review of the literature on current and promising areas of application of PEEK polymer in maxillofacial and reconstructive surgery and dentistry. The main advantages of this material, its possible applications, as well as the latest scientific research and clinical observations confirming the effectiveness and safety of using PEEK in medical practice are considered. The analysis of the disadvantages of the polymer described in the literature and ways to eliminate them is carried out.

*Results.* Polyetheretherketone has excellent resistance to abrasive wear and low temperature sensitivity, which makes it optimal for use in medical devices such as implants, prostheses and instruments. The prospects of this material in 3D technologies used in reconstructive surgery are also highly assessed. The main advantages of the material include X-ray transparency, biocompatibility, lightness, shock-absorbing effect, high thermal stability and aesthetic properties. The main disadvantage of PEEK is the lack of the ability to osseointegrate, however, this problem can be corrected.

*Conclusions.* Modern research and clinical observations show that the use of PEEK polymer in dentistry and maxillofacial surgery is highly effective and reliable. However, the long-term results of using PEEK in vivo, in particular, microbial adhesion to the polymer, properties affecting the formation of microbial biofilm, need further study.

*Keywords:* PEEK, polyetheretherketone, polymers, polymer dental implants, polymers in reconstructive surgery.

**Мустафаева Софият Магометовна**

к.м.н., ассистент,  
 ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный  
 университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик  
 666238@mail.ru

**Мустафаев Магомет Шабазович**

д.м.н., профессор,  
 ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный  
 университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик  
 mustag@mail.ru

**Мустафаева Фаризат Магометовна**

к.м.н.,  
 ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный  
 университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик  
 farident@mail.ru

**Габуев Ильяс Керамович**

Ассистент,  
 ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный  
 университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик  
 ilias07-07@mail.ru

**Вороков Астемир Асланович**

Ординатор,  
 ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный  
 университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик  
 assvorokov15@gmail.com

**Дышекова Фатима Хасановна**

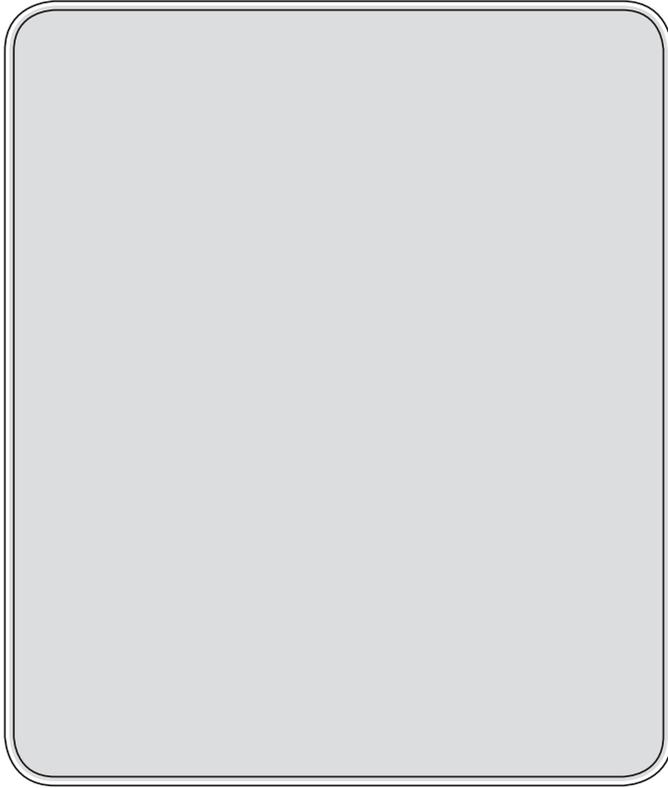
Ассистент,  
 ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный  
 университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик  
 f.dyshekova@bk.ru

*Аннотация. Актуальность.* Основные направления применения полимеров в медицине включают в себя широкий спектр областей, где эти материалы могут быть использованы для создания различных медицинских устройств и имплантатов. Среди таких полимеров особое место занимает полиэфирэфиркетон (PEEK) — высокопроизводительный термопластичный полимер. Его физико-химические свойства, такие как высокая прочность, устойчивость к коррозии, биосовместимость, биостойкость и биocompatibility, делают его перспективным материалом для создания имплантатов, протезов, абатментов и других медицинских изделий.

*Цель исследования.* Анализ целесообразности использования и определение направления дальнейшего изучения полимера РЕЕК в качестве материала для изготовления протезов, имплантатов и иных приспособлений, используемых в челюстно-лицевой, реконструктивной хирургии лица, стоматологии и хирургии полости рта.

*Материалы и методы.* В статье приведен обзор литературы по актуальным и перспективным направлениям применения полимера РЕЕК в челюстно-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, мнемокод FZZR-2023-005



Современную медицину сложно представить без технологий и материалов, способных восстановить или заместить утраченные и/или нефункциональные структуры живого организма. Основными группами биоматериалов, используемых при изготовлении имплантатов и иных медицинских устройств, являются металлы, керамика, полимеры, силиконы и композиты [1, 2].

В челюстно-лицевой, реконструктивной хирургии и стоматологии такие биоматериалы обычно применяются в качестве внутрикостных, поднадкостничных и подслизистых имплантатов и их супраструктур, внутри- и внеротовых лицевых протезов, съемных и несъемных зубных протезов, фиксирующих, obtурирующих, репонирующих и формирующих аппаратов и устройств для устранения врожденных и приобретенных дефектов и деформаций, последствий и осложнений травм, последствий удаления новообразований, осложненных воспалительных заболеваний и деструктивных процессов различной этиологии [3, 4].

Существует ряд требований, которые предъявляются к материалам для изготовления имплантатов и иных медицинских приспособлений, устанавливаемых в организм пациента. Наиболее важными из них являются безопасность для окружающих тканей, отсутствие канцерогенного, токсического и иных негативных воздействий на принимающий организм, отсутствие рисков потенциально опасных физических и химических взаи-

лицевой, реконструктивной хирургии и стоматологии. Рассмотрены основные преимущества этого материала, его возможные области применения, а также последние научные исследования и клинические наблюдения, подтверждающие эффективность и безопасность использования РЕЕК в медицинской практике. Произведен анализ описанных в литературе недостатков полимера и способов их устранения.

*Результаты.* Полиэфирэфиркетон обладает отличной сопротивляемостью абразивному износу и низкой температурной чувствительностью, что делает его оптимальным для использования в медицинских устройствах, таких как имплантаты, протезы и инструменты. Также высокой признана перспективность данного материала в 3D-технологиях, используемых в реконструктивной хирургии. К основным преимуществам материала относятся рентген-прозрачность, биосовместимость, легкость, амортизирующий эффект, высокая термическая стабильность и эстетические свойства. Главным недостатком РЕЕК признано отсутствие способности к остеоинтеграции, однако, данная проблема поддается корректированию.

*Выводы.* Современные исследования и клинические наблюдения показывают, что применение полимера РЕЕК в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии имеет высокую эффективность и надежность. Однако, долгосрочные результаты применения РЕЕК in vivo, в частности, микробная адгезия к полимеру, свойства, влияющие на формирование микробной биопленки, нуждаются в дальнейшем изучении.

*Ключевые слова:* РЕЕК, полиэфирэфиркетон, полимеры, дентальные имплантаты из полимеров, полимеры в реконструктивной хирургии.

модействий со средой, в которой происходит установка и функционирование имплантата, стерилизуемость, отсутствие благоприятных условий для микробной контаминации и ретенции, устойчивость в жидкостных и иных биологических средах организма, механическая прочность [5, 6].

До недавнего времени ведущая роль в качестве материалов для изготовления различных видов имплантатов в основном принадлежала металлам, таким, как титан, сплавы хрома, кобальта, молибдена, никеля, нержавеющей сталь. Однако с развитием медицинских технологий и усовершенствованием методик стали выявляться некоторые негативные свойства классически применяемых материалов. Базовые недостатки металлических сплавов заключаются в их склонности к созданию артефактов при проведении компьютерной или магнитно-резонансной томографии, а также в отсутствии амортизации после приживления ввиду разницы в жесткости с костными структурами реципиентной зоны [7].

Керамика также широко применяется в медицине благодаря хорошей биосовместимости с тканями организма, высокой прочности на сжатие и устойчивости к коррозии. Имплантаты из различных видов керамики, пройдя долгий эволюционный путь с экспериментами, направленными на модификацию в рамках устранения существующих недостатков (невысокой прочности на излом и деформационной способности, неудобства в использовании монолитных имплантатов и т.д.) стали

реальной и перспективной альтернативой металлическим имплантатам [8]. Однако, ввиду сложности технологического процесса изготовления модифицированных форм керамики, такие имплантаты являются дорогостоящими даже по сравнению с имплантатами из высококачественных сплавов титана.

Полимерные материалы используются в медицинских целях сравнительно недавно, однако уже очевиден ряд их преимуществ, обусловленных такими ключевыми характеристиками, как механическая прочность, жесткость и твердость при высоких температурах, стойкость к химическим воздействиям и гидролизу, высокие показатели устойчивости к износу и трению, стабильность форм и размеров, резистентность к высокоэнергетическому излучению (гамма-лучи и рентгеновское излучение), низкая внутренняя воспламеняемость и низкое дымовыделение при горении. Полимеры представлены в многообразии форм и сложных композиций (твердые вещества, волокна, пленки и гели) [9].

Полимер PEEK (полиэфирэфиркетон) — полимер семейства полиарилэфиркетонов (PAEK). С 1980-х годов полиарилэфиркетоны все чаще используются в качестве биоматериалов для травматологических, ортопедических и спинномозговых имплантатов [10]. Это семейство полимеров характеризуется прочностью, инертностью и биосовместимостью.

Полиэфирэфиркетон (PEEK) — это бесцветный полиароматический полукристаллический термопластичный полимер с механическими свойствами, благоприятными для применения в биомедицине. Формы полиэфирэфиркетона PEEK-LT1, PEEK-LT2 и PEEK-LT3 уже применяются в различных областях хирургии: в хирургии позвоночника, ортопедической хирургии, челюстно-лицевой хирургии [11]. Этот термопластик обладает высокой температурой стеклования (143°C) и плавления (334°C). Чистый полимер PEEK 381G сохраняет свою форму при температуре до 152°C, а армированные волокнами соединения — до 315°C (ISO R75) [12].

Множество исследований подтверждает эффективность, безопасность и перспективность применения полимера PEEK в челюстно-лицевой, реконструктивной хирургии, стоматологии и хирургии полости рта.

PEEK обладает многообещающими характеристиками в качестве альтернативы титановым зубным имплантатам, временным и постоянным абатментам для зубных имплантатов и зубным протезам благодаря своей химической стойкости, механическим свойствам, радиопрозрачности и простоте моделирования с помощью ручных сверл или фрез [13]. Обладает высокой ударной вязкостью, отличной эластичностью и прочностью на разрыв. Кроме того, PEEK обладает хорошей биосовместимостью

в сочетании с низкой растворимостью в воде и высокой химической и термической стабильностью. Благодаря своей резистентности к воздействию обширного ряда химических соединений, PEEK способен выдерживать значительные нагрузки в зубном ряду и обеспечивать устойчивость имплантата в тканях [14].

По сравнению с жесткими каркасными материалами, такими как оксид циркония и металлические сплавы, PEEK обладает низким модулем упругости, равным 4 ГПа, и эластичен, как кость, обеспечивая амортизирующий эффект и уменьшая нагрузки, передаваемые на опорные зубы [15]. Дополнительным преимуществом является легкий вес полимера, при прочности, выдерживающей прилагаемую силу до 1200 Н, что, по сравнению с максимальной силой жевания в 500 Н для человека, является достаточным запасом прочности [16].

В отличие от натуральных зубов, дентальные имплантаты интегрируются без образования периодонтальной связки. Традиционно используемые материалы, такие как титан, тантал и цирконий, обладают низкой эластичностью, что приводит к воздействию под неблагоприятным углом на имплантаты и кость. В масштабах макродвижений такие нагрузки могут нарушить естественный физиологический паттерн движений и отрицательно сказаться на дорсокраниальной мобильности, остеоинтеграции, привести к атрофии кости или проблемам с височно-нижнечелюстным суставом [17, 18].

Актуальной задачей пока остаются поиски метода улучшить остеоинтегративные свойства полиэфирэфиркетона, при этом избежав снижения его прочности. В литературе описываются эксперименты с изменением пористости PEEK [19], однако на данный момент не вполне ясно, как подобные модификации структуры могут отразиться на микробной адгезии к материалу.

При протезировании зубов с опорой на классических металлических имплантатах периодически возникают эстетические дефекты, связанные с «просвечиванием» имплантата сквозь окружающие мягкие ткани при недостаточной толщине наружной кортикальной пластинки челюсти, тонком биотипе слизистой оболочки и/или рецессии слизистой оболочки вокруг титанового имплантата [20]. Имплантаты из полимеров не создают подобных сложностей. Не меньшее значение имеет возможность соответствия высоким эстетическим требованиям пациента к ортопедической конструкции, создавая протезы, максимально приближенные к естественным зубам по внешнему виду: благодаря белому цвету каркасов PEEK можно избежать такой проблемы, как серый оттенок металлических каркасов [21].

Помимо вышесказанного, полимерная альтернатива титановым имплантатам значительно снижает стои-

мость имплантологического лечения [22], что является несомненным социальным аргументом в пользу дальнейшего развития направления применения РЕЕК.

Немаловажной является перспектива применения имплантатов и протезов из РЕЕК у пациентов, страдающих аллергией на металлы и отмечающих дискомфорт из-за металлического привкуса, а также пациентам, которым требуются реставрации без металла по иным причинам. Poli et al в своем литературном обзоре (2021) приводят статистику и возможные последствия непереносимости титана, в настоящее время являющегося абсолютным лидером среди материалов для изготовления дентальных имплантатов [23]. Другие авторы также отмечают значимость и недооцененность проблемы реакции непереносимости на титан в современной дентальной имплантологии [24, 25].

Maté Sánchez de Val и соавторы (2016) изучили поведение РЕЕК в качестве материала для изготовления абатментов на имплантатах и пришли к выводу, что биосовместимость материала в сочетании с благоприятной реакцией тканей делают его подходящей альтернативой традиционным титановым абатментам [26].

Схожие результаты обзора литературы на тему применения абатментов и формирователей десневой манжеты из полиэфирэфиркетона описывают Wiesli и соавторы (2015), подтверждая эффективность и безопасность использования полимера в данном качестве [27].

Также высокие оценки даны полимеру РЕЕК в качестве основного материала для изготовления съемных [28, 29] и несъемных [30, 31] протезов, одиночных коронок [32, 33, 34]. Наибольшее внимание уделяется таким позитивным особенностям полиэфирэфиркетона, как стабильные значения ретенционной нагрузки, превосходная гигротермическая стойкость, снижение концентрации напряжения в стержневой конструкции, высокий модуль прочности на разрыв [35, 36].

Однако, несмотря на очевидные плюсы и достоинства полиэфирэфиркетона, отраженные в значительном количестве научных трудов, большинство исследователей придерживается мнения о необходимости более отдаленных сроков наблюдения и контроля, в частности, в вопросах термомеханического старения материала, а также ранней жевательной нагрузки на временные коронки на имплантатах с абатментами из РЕЕК во фронтальном отделе [37].

Возрастает также число публикаций на тему применения полимеров в ортодонтии. Paglia и соавторы (2022) в своем обзоре произвели анализ литературы о перспективах и преимуществах использования РЕЕК в данном разделе стоматологии [38]. По мнению авторов

исследования, современная ортодонтия демонстрирует растущий спрос на безметалловые, индивидуальные и полностью цифровые материалы для изготовления ортодонтических приспособлений. Они акцентируют внимание на таких преимуществах полиэфирэфиркетона, как легкость, эстетичность и износостойкость. Однако, по-прежнему недостаточно информации о ретенционных свойствах при использовании в качестве ортодонтических аппаратов, противостоянии длительной динамической нагрузке, статическом трении или образовании биопленки на поверхности РЕЕК. Для оценки этих аспектов необходимы дополнительные клинические исследования.

В челюстно-лицевой травматологии все шире изучается возможность использования РЕЕК в качестве фиксирующих элементов при переломах костей лица в качестве альтернативы титановым пластинам. Результаты подобных клинических исследований подтверждают перспективность идеи [39, 40], в том числе у пациентов детского возраста [41]. Thomas и соавторы (2016) в своем анализе клинического случая описывают аллергическую реакцию в ответ на установку наконечной фиксирующей конструкции из сплава титана [42], что лишний раз свидетельствует об актуальности данного направления исследований.

К аналогичным выводам пришли авторы работ о применении пластин из полиэфирэфиркетона в ортогнатической хирургии, где среднее количество используемых у пациента фиксирующих приспособлений и оказываемая на них нагрузка значительно выше, чем при проведении остеосинтеза [43, 44].

В продолжение развития данного направления описаны результаты модификации РЕЕК наночастицами серебра с достижением выраженного антибактериального эффекта [45], что позволит сделать хирургические вмешательства более безопасными, а их результаты — более предсказуемыми.

При реконструкции структур височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) все большее предпочтение отдается имплантатам РЕЕК для замены или укрепления поврежденных компонентов [46]. Долгое время существовавшая в восстановительной хирургии ВНЧС проблема несоответствия плотности металлических имплантатов суставной головки и костной ткани суставной впадины вынуждала при протезировании структур сустава заменять на металл не только пораженные, но и интактные части [47]. Преимущество полимерных имплантатов суставной головки минимизирует риск подобного дисбаланса и, как следствие, стираемости суставных структур.

Сталкиваясь с эстетическими недостатками, например, асимметрией средней зоны лица, хирурги все чаще

рассматривают имплантаты из РЕЕК как перспективный материал для эффективного увеличения объема или изменения формы лицевого скелета, что подтверждается отличными функциональными и эстетическими результатами [48, 49].

Одним из самых социально значимых направлений является разработка концепции максимальной эффективности и безопасности методик и конструкций, используемых в реконструктивной хирургии лица и головы у пациентов с врожденными деформациями, последствиями травм и удаления опухолей. За последние годы опубликовано множество клинических случаев, подтверждающих актуальность использования РЕЕК в подобных ситуациях, в частности, для замещения послеоперационных дефектов у онкологических больных [50, 51, 52, 53] и больных после обширных травм челюстно-лицевой области [54, 55].

Исследователи отмечают такие дополнительные преимущества полимеров, как рентген-прозрачность и, как следствие, отсутствие артефактов на КТ, что улучшает качество последующего рентгенологического контроля и мониторинга, а также планирования последующих этапов лечения у онкологических пациентов [56]; улучшение симметрии лица у пациентов после реконструктивных операций на черепе и костях лица по сравнению с традиционными методами восстановления тканей [57]; снижение частоты послеоперационных осложнений у пациентов после установки массивных имплантатов в связи с исключительной биосовместимостью [58].

Тем не менее, ряд авторов акцентирует внимание на том, что опубликованных на данный момент клинических исследований недостаточно, чтобы доказать превосходство РЕЕК над другими материалами в некоторых аспектах *in vivo* [59, 60, 61], а также рекомендует модификацию материала с применением гидроксиапатита [62, 63] и наночастиц металлов, обладающих способностью улучшить слабые интегративные свойства полимера [64, 65].

Не менее востребованным направлением в реконструктивной хирургии является изготовление и инвазивная фиксация obturаторов и внутри- и внеротовых лицевых протезов, использующихся у пациентов с обширными приобретенными вследствие травм и оперативных вмешательств дефектами твердых и мягких тканей лица и полости рта. Фиксация протезов в анапластологии чаще всего осуществляется при помощи магнитов или абатментов на предварительно установленных в костные структуры опоры. Obturаторы имеют и иные методы фиксации, например, к зубам, при помощи телескопических коронок, кламмеров и аттачменов. Очевидно, что подобные устройства должны быть легкими, биокомпатибельными, функциональными, надежно фиксируемыми и удобными в применении, чему полностью соответствуют устройства из полиэфирэфиркетона [66, 67].

Автоматизированное проектирование (CAD) — это процесс создания, модификации, анализа или оптимизации дизайна с использованием компьютерной системы. Автоматизированное производство (CAM) — это процесс планирования, управления или контроллинга производства с использованием компьютерной системы [68]. Методы проектирования для реконструкции черепно-челюстно-лицевых дефектов включают использование предоперационной 3D-модели, напечатанной с предоперационными данными, печать шаблона для интраоперационных манипуляций по результатам виртуальной операции, 3D-модель после виртуальной операции, напечатанную с восстановленными данными с использованием зеркального отображения, и изготовление индивидуальных имплантатов. Выбирая подходящий метод проектирования, производственный процесс и материал имплантата в зависимости от конкретного случая, можно добиться более точной хирургической процедуры, сократить время операции, предотвратить различные осложнения, которые могут возникнуть при использовании традиционного метода, и прогнозировать результаты по сравнению с традиционным методом [69].

Немаловажным аргументом в пользу имплантатов и протезов из полиэфирэфиркетона является возможность изменять дизайн и структуру с помощью 3D-печати. Благодаря своей подгонке под особенности конкретного пациента, такие имплантаты обеспечивают оптимальную поддержку и восстановление анатомических структур [70]. Эта технология позволяет изготавливать индивидуальные устройства, которые соответствуют анатомическим требованиям конкретных пациентов, что потенциально приведет к улучшению результатов хирургических вмешательств [71, 72].

В исследованиях также прослеживается тенденция к указанию на необходимость дальнейшего пристального изучения возможностей улучшить свойства полиэфирэфиркетона для устранения существующих недостатков, например, за счет усовершенствования биологического взаимодействия полимера со стволовыми клетками, остеобластами и фибробластами при помощи технологии быстрых нейтральных частиц [73]; нанесения наноразмерных многослойных покрытий на полимер [74, 75]. Bai Z, Zhao Y, Cui C et al. в своем обзоре (2024) рассматривают и анализируют существующие несовершенства РЕЕК и описанные в литературе способы их устранения путем нанесения органических (полимерных, белковых) и неорганических покрытий в виде соединений цинка, магния, стронция, никеля, тантала, кремния и др., а также клеточных структур и даже медикаментов, например, антибиотиков и нестероидных противовоспалительных препаратов, приходя к выводу о высокой перспективности дальнейших исследований в данном направлении [76].

Таким образом, анализ современной литературы наглядно демонстрирует широкий спектр применения полимера PEEK в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. Его уникальные свойства делают его ценным материалом для различных направлений лечения стоматологических и хирургических заболеваний, восстановления зубов и устранения челюстно-лицевых дефектов, и будущие исследования продолжат раскрывать потенциал этого полимера для развития современных

технологий в медицине. Существующие недостатки и отсутствие значительного количества отдаленных результатов в некоторых аспектах применения полиэфирэфиркетона и других полимеров, не умаляют их достоинств и открывающихся перед врачами и учеными возможностей для совершенствования методик и способов реабилитации пациентов, с использованием новейших материалов и их модификаций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Загорский В.А. «Дентальная имплантация. Материалы и компоненты» Символ науки, no. 9–2, 2016, pp. 132–136.
2. Marin E, Boschetto F, Pezzotti G. Biomaterials and biocompatibility: An historical overview. *J Biomed Mater Res A*. 2020 Aug 1;108(8):1617–1633. doi: 10.1002/jbm.a.36930. Epub 2020 Mar 31. PMID: 32196949.
3. Тимофеев А.А. Хирургические методы дентальной имплантации. — К.: ООО «Червона Рута-Турс», 2012. — 128 с.
4. Гаджикулиев А.А. Реабилитация больных с дефектами верхней челюсти с использованием лечебных аппаратов на имплантатах. // Автореферат диссертации ... канд. мед. наук. — М., — 2002. — 23 с.
5. Робустова, Т.Г. Имплантация зубов (хирургические аспекты) / Т.Г. Робустова. Москва: Медицина, 2001. 560 с.
6. Параскевич В.Л. Дентальная имплантология. Основы теории и практики. — М.: Медицинское информационное агентство, 2006. — 400 с.
7. Borzan C, Berce P, Alin M, Grozav SD, Ceclan V (2013). An overview about the actual study of the use of PEEK in medical devices. Conference: 14th International Conference «Automation in Production Planning and Manufacturing», Zilina 2013.
8. Кирилова И. А, Садовой, М.А., Подорожная, В.Т., Буякова, С.П., & Кульков, С.Н. (2013). Керамические и костно-керамические имплантаты: Перспективные направления. *Хирургия позвоночника*, (4), 052–062.
9. Ramakrishna S, Mayer J, Wintermantel E, Leong KW, Biomedical applications of polymer-composite materials: a review, *Composites Science and Technology*, Volume 61, Issue 9, 2001, Pages 1189–1224, ISSN 0266-3538, [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(00\)00241-4](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(00)00241-4).
10. Kurtz SM, Devine JN (2007). Peek biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *Biomaterials*, 28(32), 4845–4869. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2007.07.013>.
11. Horák Z, Pokorný D, Fulín P, Slouf M, Jahoda D, Sosna A. Polyetheretherketon (PEEK) — I. část: Perspektivní materiál pro ortopedickou a traumatologickou praxi [Polyetheretherketone (PEEK). Part I: prospects for use in orthopaedics and traumatology]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2010;77(6):463–9. Czech. PMID: 21223825.
12. Katzer A, Marquardt H, Westendorf J, Wening JV, von Foerster G. Polyetheretherketone—cytotoxicity and mutagenicity in vitro. *Biomaterials*. 2002 Apr;23(8):1749–59. doi: 10.1016/S0142-9612(01)00300-3. PMID: 11950045.
13. Silva LS, Batista VS. (2019). Polyether Ether Ketone: The High-Performance Polymer in Dentistry. *ARC Journal of Dental Science*.
14. Темкин ЭС, Дорожкина ЛГ, Егорова ДС. (2015). Восстановление дефектов зубного ряда при помощи имплантатов Peek Optima в сочетании с методикой Plasmolifting. *Волгоградский научно-медицинский журнал*, (2), 49–53.
15. Alexakou E, Damanaki M, Zoidis P, Bakiri E, Mouzis N, Smidt G, Kourtis S. PEEK High Performance Polymers: A Review of Properties and Clinical Applications in Prosthodontics and Restorative Dentistry. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2019 Aug 29;27(3):113–121. doi: 10.1922/EJPRD\_01892Zoidis09. PMID: 31433133.
16. Bachir ES, Bechir A, Gioga C, Manu R, Burcea A, Dascalu IT. The advantages of BioHPP polymer as superstructure material in oral implantology. *Mater Plast*. 2016;53(3):394–8.
17. Qin L, Yao S, Zhao J, Zhou C, Oates TW, Weir MD, Wu J, Xu HHK. Review on Development and Dental Applications of Polyetheretherketone-Based Biomaterials and Restorations. *Materials (Basel)*. 2021 Jan 15;14(2):408. doi: 10.3390/ma14020408. PMID: 33467576; PMCID: PMC7830426.
18. Katsoulis J, Takeichi T, Sol Gaviria A, Peter L, Katsoulis K. Misfit of implant prostheses and its impact on clinical outcomes. Definition, assessment and a systematic review of the literature. *Eur J Oral Implantol*. 2017;10 Suppl 1:121–138. PMID: 28944373.
19. Torstrick FB, Lin ASP, Potter D, Safranski DL, Sulchek TA, Gall K, Guldborg RE. Porous PEEK Improves the Bone-Implant Interface Compared to Plasma-Sprayed Titanium Coating on PEEK. *Biomaterials* 2018, 185, 106–116.
20. Schwitalla A, Müller WD. PEEK dental implants: a review of the literature. *J Oral Implantol*. 2013 Dec; 39(6):743–9. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-11-00002. Epub 2011 Sep 9. PMID: 21905892.
21. Paphanasiou, I, Kamposiora, P, Papavasiliou G. et al. The use of PEEK in digital prosthodontics: A narrative review. *BMC Oral Health* 20, 217 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01202-7>.
22. Tetelman ED, Babbush CA. A new transitional abutment for immediate aesthetics and function. *Implant Dent*. 2008 Mar;17(1):51–8. doi: 10.1097/ID.0b013e318167648c. PMID: 18332758.
23. Poli PP, de Miranda FV, Polo TOB, Santiago Júnior JF, Lima Neto TJ, Rios BR, Assunção WG, Ervolino E, Maiorana C, Faverani LP. Titanium Allergy Caused by Dental Implants: A Systematic Literature Review and Case Report. *Materials (Basel)*. 2021 Sep 12;14(18):5239. doi: 10.3390/ma14185239. PMID: 34576463; PMCID: PMC8465040.
24. Müller K, Valentine-Thon E. Hypersensitivity to titanium: clinical and laboratory evidence. *Neuro Endocrinol Lett*. 2006 Dec;27 Suppl 1:31–5. Erratum in: *Neuro Endocrinol Lett*. 2007 Oct;28(5):iii. PMID: 17261997.

25. Sicilia A, Cuesta S, Coma G, Arregui I, Guisasola C, Ruiz E, Maestro A. Titanium allergy in dental implant patients: a clinical study on 1500 consecutive patients. *Clin Oral Implants Res.* 2008 Aug;19(8):823–35. doi: 10.1111/j.1600-0501.2008.01544.x. PMID: 18705814.
26. Maté Sánchez de Val J, Gómez-Moreno G, Pérez-Albacete Martínez C, Ramírez-Fernández M, Granero-Marín J, Gehrke S, et al. Peri-implant tissue behavior around non-titanium material: Experimental study in dogs. *Ann Anat* 2016; 206:104–9
27. Wiesli MG, Özcan M. High-Performance Polymers and Their Potential Application as Medical and Oral Implant Materials: A Review. *Implant Dent.* 2015 Aug;24(4):448–57. doi: 10.1097/ID.0000000000000285. PMID: 26035377.
28. Le Bars P, Bandiaky ON, Le Guéhennec L, Clouet R, Kouadio AA. Different Polymers for the Base of Removable Dentures? Part I: A Narrative Review of Mechanical and Physical Properties. *Polymers (Basel).* 2023 Aug 22;15(17):3495. doi: 10.3390/polym15173495. PMID: 37688123; PMCID: PMC10490543.
29. Zoidis P, Papatthanasiou I, Polyzois G. The Use of a Modified Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) as an Alternative Framework Material for Removable Dental Prostheses. A Clinical Report. *J Prosthodont* 2016; 25:580–4.
30. Cao YZ, Wei HB, Wang J, Yu Z, Li DH. [Application of polyetheretherketone and its composite as frameworks in fixed dental prostheses]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2019 Nov 9;54(11):773–777. Chinese. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2019.11.010. PMID: 31683386.
31. Stawarczyk B, Beuer F, Wimmer T, Jahn D, Sener B, Roos M, et al. Polyetheretherketone—a suitable material for fixed dental prostheses? *J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater* 2013; 101:1209–16.
32. Zoidis P, Bakiri E, Polyzois G. Using modified polyetheretherketone (PEEK) as an alternative material for endocrown restorations: A short-term clinical report. *J Prosthet Dent* 2017; 117:335–9.
33. Wagner C, Stock V, Merk S, Schmidlin P, Roos M, Eichberger M, et al. Retention load of telescopic crowns with different taper angles between cobalt-chromium and polyetheretherketone made with three different manufacturing processes examined by pull-off test. *J Prosthodont* 2018; 27:162–8.
34. [34] Uhrenbacher J, Schmidlin P, Keul C, Eichberger Roos M, Gernet W, et al. The effect of surface modification on the retention strength of polyetheretherketone crowns adhesively bonded to dentin abutments. *J Prosthet Dent* 2014; 112:1489–97.
35. Seferis JC. (1986). Polyetheretherketone (PEEK): Processing-structure and properties studies for a matrix in high performance composites, 7(3), 158–169. doi:10.1002/pc.750070305.
36. Schwitala AD, Spintig T, Kallage I, Müller WD, Flexural behavior of PEEK materials for dental application, *Dental Materials*, Volume 31, Issue 11, 2015, Pages 1377–1384, ISSN 0109-5641, <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.08.151>.
37. Santing HJ, Meijer HJ, Raghoobar GM, Özcan M. Fracture strength and failure mode of maxillary implant-supported provisional single crowns: a comparison of composite resin crowns fabricated directly over PEEK abutments and solid titanium abutments. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012 Dec;14(6):882–9. doi: 10.1111/j.1708-8208.2010.00322.x. Epub 2010 Dec 22. PMID: 21176099.
38. Paglia M, Beretta M, Quinzì V, Colombo S. PEEK polymer in orthodontics: a scoping review. *Eur J Paediatr Dent.* 2022 Jun;23(2):137–139. doi: 10.23804/ejpd.2022.23.02.10. PMID: 35722844.
39. Rofaida AA, Khaled AS, Ragia M. Clinical assessment of Open Reduction Internal Fixation (ORIF) of Mandibular Body Fractures Using Computer Assisted Polyetherether Ketone (PEEK) Custom Made Plates Versus Conventional Titanium Plates: A Randomized Clinical Trial. (2021). *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 12(2), 22–326. <https://doi.org/10.37506/ijphrd.v12i2.14139>.
40. Brown SA, Hastings RS, Mason JJ, Moet A. Characterization of short-fibre reinforced thermoplastics for fracture fixation devices. *Biomaterials.* 1990 Oct;11(8):541–7. doi: 10.1016/0142-9612(90)90075-2. PMID: 2149076.
41. Nourhan M, Abdelmoneim, Mahitab M. Soliman, Marwa G. Noureldin, Omneya A. Gamaleldin, Treatment of pediatric mandibular fractures using customized computer assisted PEEK plates, 2022, *Alexandria Dental Journal* 47(3):177–184 DOI:10.21608/adjalexu.2022.145417.1289.
42. Thomas P, Bandl WD, Maier S, Summer B, Przybilla B. Hypersensitivity to titanium osteosynthesis with impaired fracture healing, eczema, and T-cell hyperresponsiveness in vitro: case report and review of the literature. *Contact Dermatitis.* 2006 Oct;55(4):199–202. doi: 10.1111/j.1600-0536.2006.00931.x. PMID: 16958916.
43. Järvinen S, Suojanen J, Kormi E, Wilkman T, Kiukkonen A, Leikola J, Stoor P. The use of patient specific polyetheretherketone implants for reconstruction of maxillofacial deformities. *J Craniomaxillofac Surg.* 2019 Jul;47(7):1072–1076. doi: 10.1016/j.jcms.2019.03.018. Epub 2019 Apr 24. PMID: 31103433.
44. Arcas A, Vendrell G, Cuesta F, Bermejo L, Piqué N (2020) Mandibular Angle Augmentation using Customized PEEK Implants and Guides Generated with 3D Planning and Printing: Case Studies. *Ann Case Report* 14: 511. DOI: 10.29011/2574-7754.100511
45. Deng L, Deng Y, Xie K. AgNPs-decorated 3D printed PEEK implant for infection control and bone repair. *Colloids Surf B Biointerfaces.* 2017 Dec 1; 160:483–492. doi: 10.1016/j.colsurfb.2017.09.061. Epub 2017 Oct 2. PMID: 28992487.
46. Genovesi W, Comenale IC, Genovesi FW, Veloso Fernandes M. Biomechanical comparative analysis of temporomandibular joint, glenoid fossa and head of the condyle of conventional models prosthesis with new PEEK design. *J. Oral. Biol. Craniofac Res.* 2022; 12:529–541. doi: 10.1016/j.jobcr.2022.06.006.
47. Elledge R, Mercuri LG, Attard A, Green J, Speculand B. Review of emerging temporomandibular joint total joint replacement systems. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2019 Oct;57(8):722–728. doi: 10.1016/j.bjoms.2019.08.009. Epub 2019 Aug 25. PMID: 31455594.
48. Todaro M, Saponaro G, Perquati F, Gasparini G, Signorelli F, Tartaglione T, Moro A. Bone Regeneration and Polyetheretherketone Implants in Maxillo-Facial Surgery and Neurosurgery: A Multidisciplinary Study. *Biology (Basel).* 2024 Jun 25;13(7):467. doi: 10.3390/biology13070467. PMID: 39056662; PMCID: PMC11273635.
49. Kim MM, Boahene KD, Byrne PJ. Use of customized polyetheretherketone (PEEK) implants in the reconstruction of complex maxillofacial defects. *Arch. Facial Plast. Surg.* 2009; 11:53–57. doi: 10.1001/archfaci.11.1.53.
50. Jalbert F, Boetto S, Nadon F, Lauwers F, Schmidt E, Lopez R. One-step primary reconstruction for complex craniofacial resection with PEEK custom-made implants. *J Craniomaxillofac Surg.* 2014 Mar;42(2):141–8. doi: 10.1016/j.jcms.2013.04.001. Epub 2013 May 18. PMID: 23688592.
51. Racine C, Raffoul W, Martinez A, Broome M. Reconstruction fronto-orbitaire complexe avec prothèse en PEEK et expansion cutanée: à propos d'un cas [Complex fronto-orbital reconstruction with a PEEK prosthesis and skin expansion: about a case]. *Rev Stomatol Chir Maxillofac.* 2012 Dec;113(6):461–4. French. doi: 10.1016/j.stomax.2012.05.005. Epub 2012 Nov 22. PMID: 23182692.

52. Goodson ML, Farr D, Keith D, Banks RJ. Use of two-piece polyetheretherketone (PEEK) implants in orbitozygomatic reconstruction. *The British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*. 2012 Apr;50(3):268–269. DOI: 10.1016/j.bjoms.2011.04.077. PMID: 21700371.
53. Li Y, Li Z, Tian L, Li D, Lu B, Shi C, Niu Q, Liu F, Kong L, Zhang J. Clinical application of 3D-printed PEEK implants for repairing mandibular defects, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, Volume 50, Issue 8, 2022, Pages 621–626, ISSN 1010-5182, <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2022.06.002>.
54. Berrone M, Aldiano C, Pentenero M, Berrone S. Correction of a mandibular asymmetry after fibula reconstruction using a custom-made polyetheretherketone (PEEK) onlay after implant supported occlusal rehabilitation. *Acta Otorhinolaryngol Ital*. (2015) 35:285–8. PMID: 26824216.
55. Suresh V, Anolik R, Powers D. The Utility of Polyether-Ether-Ketone Implants Adjacent to Sinus Cavities After Craniofacial Trauma. *J Oral Maxillofac Surg*. 2018 Nov;76(11):2361–2369. doi: 10.1016/j.joms.2018.05.002. Epub 2018 May 10. PMID: 29852139.
56. Lommen J, Schorn L, Sproll C, Hausmann J, Kübler NR, Budach W, Rana M, Tamaskovics B. Reduction of CT Artifacts Using Polyetheretherketone (PEEK), Polyetherketoneketone (PEKK), Polyphenylsulfone (PPSU), and Polyethylene (PE) Reconstruction Plates in Oral Oncology. *J Oral Maxillofac Surg*. 2022 Jul;80(7):1272–1283. doi: 10.1016/j.joms.2022.03.004. Epub 2022 Mar 10. PMID: 35378095.
57. Kerkfeld V, Schorn L, Depprich R, Lommen J, Wilkat M, Kübler N, Rana M, Meyer U. Simultaneous PSI-Based Orthognathic and PEEK Bone Augmentation Surgery Leads to Improved Symmetric Facial Appearance in Craniofacial Malformations. *J Pers Med*. 2022 Oct 5;12(10):1653. doi: 10.3390/jpm12101653. PMID: 36294792; PMCID: PMC9605459.
58. Peñarrocha-Diogo M; Bernabeu-Mira JC; Fernández-Ruiz A; Aparicio C; Peñarrocha-Oltra D. Bone Regeneration and Soft Tissue Enhancement Around Zygomatic Implants: Retrospective Case Series. *Materials* 2020, 13, 1577. <https://doi.org/10.3390/ma13071577>
59. Murnan EJ, Christensen BJ. Risk Factors for Postoperative Inflammatory Complications After Maxillofacial Reconstruction Using Polyether-Ether-Ketone Implants. *J Oral Maxillofac Surg*. 2021 Mar;79(3): 696.e1–696.e7. doi: 10.1016/j.joms.2020.09.039. Epub 2020 Oct 5. PMID: 33121947.
60. Yao S, Zhang Q, Mai Y, Yang H, Li Y, Zhang M, Zhang R. Outcome and risk factors of complications after cranioplasty with polyetheretherketone and titanium mesh: A single-center retrospective study. *Front Neurol*. 2022 Sep 21; 13:926436. doi: 10.3389/fneur.2022.926436. PMID: 36212642; PMCID: PMC9533107.
61. Morselli C, Zaed I, Tropeano MP, Cataletti G, Iaccarino C, Rossini Z, Servadei F. Comparison between the different types of heterologous materials used in cranioplasty: a systematic review of the literature. *J Neurosurg Sci*. 2019 Dec;63(6):723–736. doi: 10.23736/S0390-5616.19.04779-9. Epub 2019 Oct 7. PMID: 31599560.
62. Ma R, Weng L, Bao X, Song S, Zhang Y. In vivo biocompatibility and bioactivity of in situ synthesized hydroxyapatite/polyetheretherketone composite materials. *J Appl Polym Sci*. 2013; 127:2581–2587. doi: 10.1002/app.37926.
63. Ma R, Guo D. Evaluating the bioactivity of a hydroxyapatite-incorporated polyetheretherketone biocomposite. *J Orthop Surg Res*. 2019 Jan 25;14(1):32. doi: 10.1186/s13018-019-1069-1. PMID: 30683125; PMCID: PMC6347847.
64. Kjellin P, Vikingsson L, Danielsson K, Johansson P, Wennerberg A. A nanosized zirconium phosphate coating for peek implants and its effect in vivo. *Materialia*. 2020; 10:100645.
65. Shimizu T, Fujibayashi S, Yamaguchi S, Yamamoto K, Otsuki B, Takemoto M, Tsukanaka M, Kizuki T, Matsushita T, Kokubo T, Matsuda S. Bioactivity of sol-gel-derived TiO<sub>2</sub> coating on polyetheretherketone: In vitro and in vivo studies. *Acta Biomater*. 2016 Apr 15; 35:305–17. doi: 10.1016/j.actbio.2016.02.007. Epub 2016 Feb 6. PMID: 26861855.
66. Costa-Palau S, Torrents-Nicolas J, Brufau-de Barberà M, Cabratosa-Termes J. Use of polyetheretherketone in the fabrication of a maxillary obturator prosthesis: a clinical report. *J Prosthet Dent*. 2014 Sep;112(3):680–2. doi: 10.1016/j.prosdent.2013.10.026. Epub 2014 Mar 11. PMID: 24630397.
67. Villefort RF, Tribst JPM, Dal Piva AMO, Borges AL, Binda NC, Ferreira CEA, Bottino MA, von Zeidler SLV. Stress distribution on different bar materials in implant-retained palatal obturator. *PLoS One*. 2020 Oct 30;15(10):e0241589. doi: 10.1371/journal.pone.0241589. PMID: 33125441; PMCID: PMC7598468.
68. Groover M, Zimmers E. CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing. — Pearson Education, 1983.
69. Oh Jh. Recent advances in the reconstruction of cranio-maxillofacial defects using computer-aided design/computer-aided manufacturing. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 40, 2 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40902-018-0141-9>.
70. Arcas A, Vendrell G, Cuesta F, Bermejo L, Piqué N. (2020). Mandibular Angle Augmentation using Customized PEEK Implants and Guides Generated with 3D Planning and Printing: Case Studies. *Annals of Case Reports*.
71. Patel N, Kim B, Zaid W. Use of Virtual Surgical Planning for Simultaneous Maxillofacial Osteotomies and Custom Polyetheretherketone Implant in Secondary Orbito-Frontal Reconstruction: Importance of Restoring Orbital Volume. *J Craniofac Surg*. 2017 Mar;28(2):387–390. doi: 10.1097/SCS.0000000000003313. PMID: 28027185.
72. Van de Vijfeijken SECM, Schreurs R, Dubois L, Becking AG; CranioSafe Group. The use of cranial resection templates with 3D virtual planning and PEEK patient-specific implants: A 3 year follow-up. *J Craniomaxillofac Surg*. 2019 Apr;47(4):542–547. doi: 10.1016/j.jcms.2018.07.012. Epub 2018 Jul 25. PMID: 30745010.
73. Ajami S, Coathup MJ, Khoury J, Blunn GW. Augmenting the bioactivity of polyetheretherketone using a novel accelerated neutral atom beam technique. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2017 Aug;105(6):1438–1446. doi: 10.1002/jbm.b.33681. Epub 2016 Apr 18. PMID: 27086858.
74. Oladapo BI, Zahedi SA, Ismail SO, Omigbodun FT. 3D printing of PEEK and its composite to increase biointerfaces as a biomedical material— A review. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2021 Jul; 203:111726. doi: 10.1016/j.colsurfb.2021.111726. Epub 2021 Mar 26. PMID: 33865088.
75. Liu X, Han F, Zhao P, Lin C, Wen X, Ye X. Layer-by-layer self-assembled multilayers on PEEK implants improve osseointegration in an osteoporosis rabbit model. *Nanomedicine*. 2017 May;13(4):1423–1433. doi: 10.1016/j.nano.2017.01.011. Epub 2017 Jan 25. PMID: 28131883.
76. Bai Z, Zhao Y, Cui C, Yan J, Qin D, Tong J, Peng H, Liu Y, Sun L, Wu X, Li B, Li X. Multifaceted Materials for Enhanced Osteogenesis and Antimicrobial Properties on Bioplastic Polyetheretherketone Surfaces: A Review. *ACS Omega*. 2024 Apr 12;9(16):17784–17807. doi: 10.1021/acsomega.4c00923. PMID: 38680314; PMCID: PMC11044237.

© Мустафаева Софият Магометовна (666238@mail.ru); Мустафаев Магомет Шабазович (musmag@mail.ru);  
Мустафаева Фаризат Магометовна (farident@mail.ru); Габуев Ильяс Керамович (ilias07-07@mail.ru);  
Вороков Астемир Асланович (assvorokov15@gmail.com); Дышекова Фатима Хасановна (f.dysheкова@bk.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ПОСТКОВИДНЫЙ СИНДРОМ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ). ЧАСТЬ I

## POSTCOVID SYNDROME (LITERATURE REVIEW). PART I

**I. Nikiforov  
D. Fedotov  
G. Kostyuk  
L. Burygina  
M. Belova  
V. Istomina**

*Summary.* The emergence and global spread of the new coronavirus infection COVID-19 has become a heavy burden on the health of people around the world. The literature review is devoted to the issues of somatic and mental (in the second part of the article) disorders of comorbid COVID-19 in the long-term stages after acute coronavirus infection. The concept of «long covid», post-covid syndrome, is revealed, its clinical picture is characterized, and the proposed mechanisms and risk factors are described.

*Keywords:* postcovid syndrome, systemic inflammation, endothelial dysfunction, vasculitis, damage to internal organs.

**Никифоров Игорь Анатольевич**

доктор медицинских наук, профессор, Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий, Федеральное медико-биологическое агентство России  
narkolog.ipk@mail.ru

**Федотов Дмитрий Дмитриевич**

кандидат медицинских наук, Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий, Федеральное медико-биологическое агентство России  
double\_dee@mail.ru

**Костюк Георгий Петрович**

доктор медицинских наук, профессор, главный врач ГБУЗ г. Москвы, «Психиатрическая клиническая больница № 1 им. Н.А. Алексеева  
pkb1@zdrav.mos.ru

**Бuryгина Лариса Андреевна**

кандидат медицинских наук, главный врач ГБУЗ г. Москвы «Психиатрическая клиническая больница № 4 им. П.Б. Ганнушкина  
pkb4@zdrav.mos.ru

**Белова Майя Юрьевна**

врач-психиатр, заведующий филиалом «Психиатрический стационар им. В.А. Гиляровского» ГБУЗ г. Москвы, «Психиатрическая клиническая больница № 4 им. П.Б. Ганнушкина  
pkb4-pb3@zdrav.mos.ru

**Истомина Виктория Витальевна**

врач-психиатр, заведующий общепсихиатрическим отделением № 19 «Психиатрического стационара им. В.А. Гиляровского» — филиала Государственного бюджетного учреждения здравоохранения г. Москвы «Психиатрическая клиническая больница № 4 им. П.Б. Ганнушкина  
pkb4-pb3@zdrav.mos.ru

*Аннотация.* Появление и глобальное распространение новой коронавирусной инфекции COVID-19 стало тяжелым бременем для здоровья людей во всем мире. Обзор литературы посвящен вопросам соматических и психических (во второй части статьи) расстройств коморбидных COVID-19 на отдаленных этапах после острой коронавирусной инфекции. Раскрывается понятие «длинного ковида», постковидного синдрома, дается характеристика его клинической картины, описываются предполагаемые механизмы и факторы риска.

*Ключевые слова:* постковидный синдром, системное воспаление, эндотелиальная дисфункция, васкулит, поражение внутренних органов.

К настоящему времени еще не сформулировано общепринятое определение постковидного синдрома. Сохраняющаяся после перенесенной острой коронавирусной инфекции COVID-19 симптоматика в научной литературе описывается под разными названиями: длинный COVID (long-COVID), пост-COVID-синдром (post-COVID-19 syndrome), длительный COVID (long-term COVID), хронический COVID-синдром (chronic COVID syndrome), поздние последствия инфекции SARS-CoV-2 (late sequelae of SARS-CoV-2 infection), подострый COVID-19 (post-acute COVID-19), затяжной COVID-19 (long haul COVID-19), персистирующие пост-COVID-симптомы (persistent post-COVID symptoms) и др. [1]. Вместе с тем феномен постковидного синдрома признан в научном и медицинском сообществах и внимательно изучается [2].

«Состояние после COVID-19» обозначено в Международной классификации болезней 10-го пересмотра под кодом U09.9 и включает прогрессирующее полиорганоное поражение, полинейропатию, аутоиммунные расстройства, а также астенический синдром [3, 4].

Метаанализ 57 исследований с участием более 250 000 человек показал, что после острого COVID-19 патологические симптомы, нарушающие функциональную активность, у 43 % людей сохранялись в течение 6 месяцев.

Исследование почти 100 000 случаев, переболевших COVID-19 в сравнении с контрольными группами не инфицированных, показало, что более чем в 40 % случаев те или иные патологические симптомы сохранялись в течение 18 месяцев.

Анализ 6000 случаев госпитализированных пациентов с коронавирусной инфекцией в сравнении с интактными людьми показал, что у 30 % остаются стойкие симптомы разных расстройств в течение 2-х лет после острого этапа болезни.

Среди пациентов со стойкими изнурительными симптомами после COVID-19 13–45 % демонстрируют картину миалгической энцефалопатии [5].

Росздравнадзор определяет постковидный синдром как комплекс симптомов, остающихся у человека после острых проявлений болезни или ее осложнений, при завершенном курсе лечения [6].

Постковидный синдром — мультисистемное состояние, включающее в том числе и тяжелые симптомы, которые следуют за острым инфекционным респираторным синдромом, вызванным коронавирусом SARS-CoV-2 (далее — ПКС).

Во всем мире им страдают 65 млн человек, то есть 10 % от числа зарегистрированных случаев COVID-19<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> на август 2024 г. это минимум 70 млн. чел.

Заболеваемость оценивается в 10–30 % среди негоспитализированных пациентов, 50–70 % госпитализированных и 10–12 % вакцинированных [7,8,9,10,11].

ПКС представлен:

- в любом возрастном периоде;
- встречается чаще в 36–50 лет;
- вне зависимости от степени тяжести острого периода COVID-19;
- большинство больных — из числа перенесших инфекцию в легкой форме [12].

У многих пациентов наблюдаются десятки симптомов со стороны различных органов и систем [13].

ПКС отличает феномен полиморбидности: сердечно-сосудистые, тромботические и цереброваскулярные заболевания [14], диабет 2 типа [15], миалгический энцефаломиелит (синдром хронической усталости (МЭ, ME/CFS) [16, 17], расстройство вегетативной нервной системы (снижение или повышение активности одного из компонентов вегетативной нервной системы (ВНС), дисавтономия), в том числе синдром постуральной ортостатической тахикардии (POTS) [18]. Симптомы могут сохраняться годами [19], а в случае наличия синдрома хронической усталости и дисавтономии, по прогнозам некоторых авторов [20], и всю жизнь, что влечет за собой рост статистики по нетрудоспособности и инвалидности [21].

По данным американских авторов, через 6–12 месяцев после COVID-19, протекавшего в форме острого респираторного синдрома, значительно возрастает риск остановки сердца, сердечной недостаточности, развития диабета, легочной эмболии и инсульта, а также возникновения МЭ и дисавтономии. Отмечался повышенный риск нарушения свертываемости крови, изменения гематологических показателей, неврологических и легочных заболеваний [22].

#### Гипотезы патогенеза ПКС

1. Сохранение резервуаров вируса SARS-CoV-2 в тканях переболевших COVID-19 [23, 24].
2. Нарушение иммунной регуляции в организме [24, 25, 26].
3. Реактивация основных патогенов (вирус герпеса, Эпштейн-Бара, вирус герпеса человека 6-го типа [24, 27, 28].
4. Изменения состава микробиоты под действием SARS-CoV-2 [24, 29, 30, 31].
5. Аутоиммунные нарушения [24, 32, 33, 34].
6. Микроваскулярное свертывание крови с эндотелиальной дисфункцией. [29, 35, 36, 37].
7. Дисфункциональная передача сигналов в стволе мозга и/или в блуждающем нерве [24, 38].

Факторы риска ПКС:

- женский пол;
- диабет 2-го типа;
- реактивация патогенов;
- выработка специфических аутоантител [27];
- заболевание соединительной ткани [33];
- наличие синдрома гиперактивности у пациентов;
- развитие МЕ [39];
- аллергические заболевания (хроническая крапивница, аллергический ринит [40];
- низкие доходы семьи [41, 42].

#### Иммунологические аспекты ПКС

Исследования иммунной дисрегуляции у людей с ПКС, перенесших COVID-19 в легкой форме, обнаружили:

- истощение Т-клеток;
- снижение количества лимфоцитов CD4+ и CD8+[25];
- повышенную экспрессию PD1 на поверхности Т-лимфоцитов, сохранявшиеся не менее 13 месяцев [43];
- высокую активацию врожденных иммунных клеток, отсутствие наивных Т— и В-клеток, повышение экспрессии интерферонов типа I и типа III (интерферон- $\beta$  (IFN $\beta$ ) и IFN $\lambda$ 1), сохраняющаяся в течение не менее 8 месяцев [26];
- увеличение количества неклассических моноцитов, активированных В-клеток, дважды отрицательных В-клеток, IL-4 и IL-6-секретирующих CD4+ Т-клеток, снижение количества обычных дендритных клеток и истощенных Т-клеток;
- низкий уровень кортизола даже через 14 месяцев после заражения COVID-19 [25];
- повышение уровня цитокинов (IL-1 $\beta$ , IL-6, TNF и IP10) [44, 45].
- стойкие нарушения уровня протеина CCL11 (что ассоциируют с когнитивной дисфункцией) [46];
- повышенные уровни аутоантител [27] (включая АТ к ACE-2 [28],  $\beta$ 2-адренорецептору, мускариновому рецептору M2, рецептору ангиотензин II AT1 и ангиотензин 1-7 MAS рецептору [32];
- высокие уровни аутоантител, нацеленных на ткани (соединительная, компоненты внеклеточного матрикса, эндотелий сосудов, факторы свертывания крови, тромбоциты), системы органов (легкие, нервная система, кожа, желудочно-кишечный тракт), иммуномодулирующие белки (цитокины, хемокины, компоненты комплемента и белки клеточной поверхности) [47];
- вероятные предикторы ПКС — низкие уровни: антител к SARS-CoV-2 в острой стадии COVID-19, IgG, рецептор-связывающего домена и спайк-специфических В-клеток памяти, нуклеокапсида IgG, спайк-специфического IgG, [48, 49];

- высокие уровни аутоантител в ПКС обратно коррелируют с защитными АТ при COVID-19, что способствует вероятным прорывным инфекциям [33];
- лица женского пола по сравнению с мужчинами имеют более низкие уровни антител в целом [50, 51];
- вирусные белки SARS-CoV-2 и РНК обнаружены в репродуктивной системе, сердечно-сосудистой, мозге, мышцах, глазах, лимфатических узлах, аппендиксе, ткани молочной железы, печени, легких, плазме, кале и моче [52, 53, 54, 55, 56, 57], в материалах биопсии [55, 58].

#### Состояние условно-патогенной флоры при ПКС

У пациентов с ПКС обнаружены реактивированные вирусы: EBV и HHV-6, которые приводят к фрагментации митохондрий и влияют на энергетический обмен клеток [25, 27, 28, 33, 59].

#### Повреждение сосудов и внутренних органов при ПКС

В период ПКС повреждения, вызванные перенесенным COVID-19, обнаружены во многих органах и системах организма. Их патогенез авторы объясняют:

- иммуноопосредованной реакцией;
- воспалением;
- воздействием на клетки SARS-CoV-2.

Нарушение системы кровообращения включает в себя:

- эндотелиальную дисфункцию;
- системный васкулит [60, 61];
- риск тромбоза глубоких вен, легочной эмболии и кровотечения [35, 36, 62];
- изменения размера и жесткости клеток крови (риск гипоксии тканей) [63];
- снижение плотности сосудов, особенно мелких капилляров (в том числе через 18 месяцев после заражения) [64];
- повышение уровня биомаркеров сосудистой трансформации (маркеры ангиогенеза ANG1 и Р-селектин) [65];
- повышенный риск развития сердечно-сосудистых заболеваний (сердечная недостаточность, инфаркт, аритмии, инсульт, колебания артериального давления, миокардит, кардиомиопатия) [14, 66, 68, 70];
- при МРТ сердца выявляется нарушения сосудистой деятельности у 78% переболевших COVID-19 (через 71 день после заражения [66] и у 58 % через 21 месяц [71];
- повышение показателей липидного обмена, уровня сахара в крови и снижение уровня белка [72];
- митохондриальная дисфункция, включая потерю потенциала митохондриальной мембраны, дис-

функциональный митохондриальный метаболизм, измененный метаболизм жирных кислот и дисфункциональный митохондриально-зависимый катаболизм липидов, окислительно-восстановительный дисбаланс, нарушение экстракции кислорода [73, 74, 75, 76, 77, 78].

Описывая полиорганную патологию в структуре ПКС, авторы отмечают повреждения тканей множества органов, включая легкие, мозг, сердце, почки и кишечник (можно обнаружить методами визуализации) и обращают внимание на риск развития затяжных органных дисфункций.

Наряду с возникновением новых сомато-неврологических заболеваний в период ПКС происходит обострение таких патологических состояний как сахарный диабет, псориаз, хронические заболевания кожи, сердечно-сосудистые заболевания (включая инфаркт миокарда), инсульт и легочная недостаточность (заболеваемость выросла на 150–400 %). Резко возрос риск смерти (на 160 %) на протяжении первого года после перенесенного COVID-19 по сравнению с популяцией, не затронутой этой инфекцией [5, 69, 72].

В ПКС длительное время могут сохраняться такие расстройства как:

- миалгии;
- артралгии;
- саркопения;
- диффузная и очаговая алопеция;
- дефицит микроэлементов;
- повышение ломкости и ухудшение структуры волос и ногтей [72].

#### Расстройства репродуктивной сферы при ПКС

В целом этому аспекту посвящены лишь отдельные работы, которые дают некоторую информацию о гендерном аспекте последствий COVID-19.

Описаны:

- нарушение менструального цикла: нерегулярные менструации, усиление предменструальных симптомов, редкие менструации [79, 80];
- снижение овариального резерва и репродуктивные эндокринные нарушения;
- связь между ЭМ и синдромом поликистоза яичников, ранней менопаузой, эндометриозом [81, 82, 83];
- персистенция (сохранение в функционально активном состоянии) вируса в тканях полового члена;
- эректильная дисфункция (что связывают и с эндотелиальной дисфункцией) [84];
- изменение количества сперматозоидов, объема спермы, подвижности, морфологии сперматозоидов, ее концентрации (коррелировали с повы-

шенным уровнем цитокинов, наличием каспазы 3, каспазы 8 и каспазы 9 в семенной жидкости) [85].

#### Расстройства дыхательной системы при ПКС

Описывая клинические варианты поражения легких при COVID-19, авторы выделяют следующие:

- острая респираторная вирусная инфекция (поражение только верхних отделов дыхательных путей);
- пневмония без дыхательной недостаточности;
- пневмония с острой дыхательной недостаточностью;
- острый респираторный дистресс-синдром;
- сепсис;
- септический (инфекционно-токсический) шок [86, 87].

Респираторные заболевания нередко входят в структуру ПКС, они встречаются в 2 раза чаще у лиц, выживших после COVID-19, чем в общей популяции [8].

При ПКС наблюдают респираторные синдромы:

- одышка;
- кашель;
- эмфизема;
- изменения перфузии [88, 89];
- апоптоз и повреждение эпителия бронхов [90];
- фиброз [91, 92].

#### Состояние желудочно-кишечного тракта при ПКС

Желудочно-кишечные симптомы при ПКС включают в себя:

- тошноту;
- боль в животе;
- потерю аппетита;
- изжогу;
- запор;
- диарею [72, 93].

Описывают дисбактериоз. В микробиоте находят более высокие уровни *Ruminococcus gnavus* и *Bacteroides vulgatus* и более низкие уровни *Faecalibacterium prauznitzii*, низкие уровни бактерий, продуцирующих бутират [30].

В анализах кала присутствует РНК SARS-CoV-2 на протяжении 7 месяцев после заражения [58, 94], сохраняется антиген в слизистой оболочке кишечника [95].

Перенос кишечных бактерий от пациентов с ПКС здоровым мышам привел к утрате у них когнитивных функций и нарушению защиты легких [31].

#### Поражение органа зрения

В структуре ПКС обнаружены органические изменения в зрительном анализаторе:

- потеря мелких нервных волокон роговицы;
- повышенная плотность дефицитарных клеток [96, 97];
- изменение реакции зрачков на свет [98];
- изменение микроциркуляции сетчатки [99];
- кровоизлияние в сетчатку, пятна на глазном дне, окклюзия вен сетчатки [100].

Пандемия COVID-19 серьезно повлияла на систему оказания медицинской помощи во всем мире и вызвала значительную заболеваемость и смертность. Возникновение и значение последствий COVID-19 были осознаны, когда оказалось, что значительная часть пациентов продолжает страдать от различных симптомов в течение многих месяцев и лет после выздоровления от острой

фазы инфекции. Эти осложнения наблюдались не только в дыхательных путях, но и во многих органах как по локализации, так и по тяжести.

Состояние после COVID-19 («длинный COVID») представляет собой ряд различных поствирусных синдромов, которые требуют соответствующей классификации. Необходимы сбор большого объема данных и регистрация всех физических и нейропсихиатрических симптомов, сохраняющихся более 12 недель без альтернативного объяснения [101].

Во второй части настоящего литературного обзора будет представлена информация о нейропсихиатрических расстройствах у больных, перенесших COVID-19

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Yong S.J. Long COVID or post-COVID-19 syndrome: putative pathophysiology, risk factors, and treatments // *Infectious diseases*. — 2021. — Т. 53. — №. 10. — С. 737–754.
2. Callard F., Perego E. How and why patients made Long Covid // *Social science & medicine*. — 2021. — Т. 268. — С. 113426.
3. Oronsky B. et al. A review of persistent post-COVID syndrome (PPCS) // *Clinical reviews in allergy & immunology*. — 2023. — Т. 64. — №. 1. — С. 66–74.
4. Малевич Р.М., Сумная Д.Б. «СОСТОЯНИЕ ПОСЛЕ COVID-19» LONG-COVID // *Инновации в науке и практике*. — 2023. — С. 21–26.
5. Komaroff A.L., Lipkin W.I. ME/CFS and Long COVID share similar symptoms and biological abnormalities: road map to the literature // *Frontiers in Medicine*. — 2023. — Т. 10. — С. 1187163.
6. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека «20 вопросов о «постковидном синдроме». Электронный ресурс <https://77.rospotrebnadzor.ru/index.php/press-centr/186-press-centr/10425-20-voprosov-o-postkovidnom-sindrome-10-01-2022?ysclid=m0awpw9kl2583286759>.
7. Ballering A.V. et al. Persistence of somatic symptoms after COVID-19 in the Netherlands: an observational cohort study // *The Lancet*. — 2022. — Т. 400. — №. 10350. — С. 452–461.
8. Bull-Otterson L. Post-COVID conditions among adult COVID-19 survivors aged 18–64 and ≥ 65 years—United States, March 2020–November 2021 // *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*. — 2022. — Т. 71.
9. Ceban F. et al. Fatigue and cognitive impairment in post-COVID-19 Syndrome: A systematic review and meta-analysis // *Brain, behavior, and immunity*. — 2022. — Т. 101. — С. 93–135.
10. Al-Aly Z., Bowe B., Xie Y. Long COVID after breakthrough SARS-CoV-2 infection // *Nature medicine*. — 2022. — Т. 28. — №. 7. — С. 1461–1467.
11. Ayoubkhani D. et al. Risk of Long Covid in people infected with SARS-CoV-2 after two doses of a COVID-19 vaccine: community-based, matched cohort study // *medRxiv*. — 2022. — С. 2022.02.23.22271388.
12. FAIR health. Patients diagnosed with post-COVID conditions: analysis of Private Healthcare Claims Using the official ICD-10 Diagnostic Code (FAIR health, 2022)
13. Davis H.E. et al. Characterizing long COVID in an international cohort: 7 months of symptoms and their impact // *EClinicalMedicine*. — 2021. — Т. 38.
14. Xie Y. et al. Long-term cardiovascular outcomes of COVID-19 // *Nature medicine*. — 2022. — Т. 28. — №. 3. — С. 583–590.
15. Xie Y., Al-Aly Z. Risks and burdens of incident diabetes in long COVID: a cohort study // *The lancet Diabetes & endocrinology*. — 2022. — Т. 10. — №. 5. — С. 311–321.
16. Mancini D.M. et al. Use of cardiopulmonary stress testing for patients with unexplained dyspnea post-coronavirus disease // *Heart Failure*. — 2021. — Т. 9. — №. 12. — С. 927–937.
17. Kedor C. et al. A prospective observational study of post-COVID-19 chronic fatigue syndrome following the first pandemic wave in Germany and biomarkers associated with symptom severity // *Nature communications*. — 2022. — Т. 13. — №. 1. — С. 5104.
18. Larsen N. W. et al. Characterization of autonomic symptom burden in long COVID: a global survey of 2,314 adults // *Frontiers in neurology*. — 2022. — Т. 13. — С. 1012668.
19. Demko Z.O. et al. Post-acute sequelae of SARS-CoV-2 (PASC) impact quality of life at 6, 12 and 18 months post-infection // *MedRxiv*. — 2022. — С. 2022.08.08.22278543.
20. Cairns R., Hotopf M. A systematic review describing the prognosis of chronic fatigue syndrome // *Occupational medicine*. — 2005. — Т. 55. — №. 1. — С. 20–31.
21. Bach K. «Is long Covid» worsening the labor shortage? <https://www.brookings.edu/articles/is-long-covid-worsening-the-labor-shortage/>
22. Davis H.E. et al. Long COVID: major findings, mechanisms and recommendations // *Nature Reviews Microbiology*. — 2023. — Т. 21. — №. 3. — С. 133–146.
23. Swank Z. et al. Persistent circulating severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 spike is associated with post-acute coronavirus disease 2019 sequelae // *Clinical Infectious Diseases*. — 2023. — Т. 76. — №. 3. — С. e487–e490.
24. Proal A.D., VanElzakker M.B. Long COVID or post-acute sequelae of COVID-19 (PASC): an overview of biological factors that may contribute to persistent symptoms // *Frontiers in microbiology*. — 2021. — Т. 12. — С. 698169.

25. Klein J. et al. Distinguishing features of Long COVID identified through immune profiling //Nature. — 2023. — Т. 623. — №. 7985. — С. 139–148.
26. Phetsouphanh C. et al. Immunological dysfunction persists for 8 months following initial mild-to-moderate SARS-CoV-2 infection // Nature immunology. — 2022. — Т. 23. — №. 2. — С. 210–216.
27. Zubchenko S. et al. Herpesvirus infections and post-COVID-19 manifestations: a pilot observational study //Rheumatology International. — 2022. — Т. 42. — №. 9. — С. 1523–1530.
28. Peluso M.J. et al. Evidence of recent Epstein-Barr virus reactivation in individuals experiencing Long COVID. — 2022.
29. Yeoh Y.K. et al. Gut microbiota composition reflects disease severity and dysfunctional immune responses in patients with COVID-19 //Gut. — 2021. — Т. 70. — №. 4. — С. 698–706.
30. Liu Q. et al. Gut microbiota dynamics in a prospective cohort of patients with post-acute COVID-19 syndrome // Gut. — 2022. — Т. 71. — №. 3. — С. 544–552.
31. de Almeida V.M. et al. Gut microbiota from patients with mild COVID-19 cause alterations in mice that resemble post-COVID syndrome // Res. Sq. — 2022.
32. Wallukat G. et al. Functional autoantibodies against G-protein coupled receptors in patients with persistent Long-COVID-19 symptoms //Journal of Translational Autoimmunity. — 2021. — Т. 4. — С. 100100.
33. Su Y. et al. Multiple early factors anticipate post-acute COVID-19 sequelae //Cell. — 2022. — Т. 185. — №. 5. — С. 881–895. e20.
34. Arthur J.M. et al. Development of ACE2 autoantibodies after SARS-CoV-2 infection //PloS one. — 2021. — Т. 16. — №. 9. — С. e0257016.
35. Haffke M. et al. Endothelial dysfunction and altered endothelial biomarkers in patients with post-COVID-19 syndrome and chronic fatigue syndrome (ME/CFS) // Journal of Translational Medicine. — 2022. — Т. 20. — №. 1. — С. 138.
36. Charfeddine S. et al. Long COVID 19 syndrome: is it related to microcirculation and endothelial dysfunction? Insights from TUN-EndCOV study //Frontiers in cardiovascular medicine. — 2021. — Т. 8. — С. 745758.
37. Pretorius E. et al. Prevalence of symptoms, comorbidities, fibrin amyloid microclots and platelet pathology in individuals with Long COVID/Post-Acute Sequelae of COVID-19 (PASC) //Cardiovascular diabetology. — 2022. — Т. 21. — №. 1. — С. 148.
38. Spudich S., Nath A. Nervous system consequences of COVID-19 //Science. — 2022. — Т. 375. — №. 6578. — С. 267–269.
39. Renz-Polster H. et al. The pathobiology of myalgic encephalomyelitis/chronic fatigue syndrome: the case for neuroglial failure //Frontiers in cellular neuroscience. — 2022. — Т. 16. — С. 888232.
40. Merzon E. et al. Clinical and socio-demographic variables associated with the diagnosis of long COVID syndrome in youth: a population-based study //International Journal of Environmental Research and Public Health. — 2022. — Т. 19. — №. 10. — С. 5993.
41. Williamson A.E. et al. Short-term and long-term impacts of COVID-19 on economic vulnerability: a population-based longitudinal study (COVIDENCE UK) //BMJ open. — 2022. — Т. 12. — №. 8. — С. e065083.
42. Ziauddeen N. et al. Characteristics and impact of Long Covid: Findings from an online survey //PloS one. — 2022. — Т. 17. — №. 3. — С. e0264331.
43. Glynne P. et al. Long COVID following mild SARS-CoV-2 infection: characteristic T cell alterations and response to antihistamines //Journal of Investigative Medicine. — 2022. — Т. 70. — №. 1. — С. 61–67.
44. Schultheiß C. et al. From online data collection to identification of disease mechanisms: The IL-1 $\beta$ , IL-6 and TNF- $\alpha$  cytokine triad is associated with post-acute sequelae of COVID-19 in a digital research cohort //MedRxiv. — 2021. — С. 2021.11.16.21266391.
45. Peluso M.J. et al. Markers of immune activation and inflammation in individuals with postacute sequelae of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 infection //The Journal of infectious diseases. — 2021. — Т. 224. — №. 11. — С. 1839–1848.
46. Fernández-Castañeda A. et al. Mild respiratory SARS-CoV-2 infection can cause multi-lineage cellular dysregulation and myelin loss in the brain //BioRxiv. — 2022. <https://doi.org/10.1101/2022.01.07.475453>
47. Wang E.Y. et al. Diverse functional autoantibodies in patients with COVID-19 //Nature. — 2021. — Т. 595. — №. 7866. — С. 283–288.
48. García-Abellán J. et al. Antibody response to SARS-CoV-2 is associated with long-term clinical outcome in patients with COVID-19: a longitudinal study //Journal of clinical immunology. — 2021. — Т. 41. — №. 7. — С. 1490–1501.
49. Augustin M. et al. Post-COVID syndrome in non-hospitalised patients with COVID-19: a longitudinal prospective cohort study //The Lancet Regional Health—Europe. — 2021. — Т. 6. — С. 100122.
50. Korte W. et al. SARS-CoV-2 IgG and IgA antibody response is gender dependent; and IgG antibodies rapidly decline early on //Journal of Infection. — 2021. — Т. 82. — №. 1. — С. e11–e14.
51. Williams J. et al. A two-phase, single cohort study of COVID-19 antibody sera-surveillance. A Epidemiol Public Health. 2021; 4(1): 1055.
52. Tejerina F. et al. Post-COVID-19 syndrome. SARS-CoV-2 RNA detection in plasma, stool, and urine in patients with persistent symptoms after COVID-19 //BMC infectious diseases. — 2022. — Т. 22. — №. 1. — С. 211.
53. Goh D. et al. Persistence of residual SARS-CoV-2 viral antigen and RNA in tissues of patients with long COVID-19. — 2022. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1379777/v2>
54. Ceulemans L.J. et al. Persistence of SARS-CoV-2 RNA in lung tissue after mild COVID-19 //The Lancet Respiratory Medicine. — 2021. — Т. 9. — №. 8. — С. e78–e79.
55. Gaebler C. et al. Evolution of antibody immunity to SARS-CoV-2 //Nature. — 2021. — Т. 591. — №. 7851. — С. 639–644.
56. Menuchin-Lasowski Y. et al. SARS-CoV-2 infects and replicates in photoreceptor and retinal ganglion cells of human retinal organoids //Stem cell reports. — 2022. — Т. 17. — №. 4. — С. 789–803.
57. Cheung C. C.L. et al. Residual SARS-CoV-2 viral antigens detected in GI and hepatic tissues from five recovered patients with COVID-19 //Gut. — 2022. — Т. 71. — №. 1. — С. 226–229.
58. Natarajan A. et al. Gastrointestinal symptoms and fecal shedding of SARS-CoV-2 RNA suggest prolonged gastrointestinal infection //Med. — 2022. — Т. 3. — №. 6. — С. 371–387. e9.

59. Schreiner P. et al. Human herpesvirus-6 reactivation, mitochondrial fragmentation, and the coordination of antiviral and metabolic phenotypes in myalgic encephalomyelitis/chronic fatigue syndrome //Immunohorizons. — 2020. — Т. 4. — №. 4. — С. 201–215.
60. Varga Z. et al. Endothelial cell infection and endotheliitis in COVID-19 //The Lancet. — 2020. — Т. 395. — №. 10234. — С. 1417–1418. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30937-5
61. Merkler A.E. et al. Risk of ischemic stroke in patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19) vs patients with influenza // JAMA neurology. — 2020. — Т. 77. — №. 11. — С. 1366–1372.
62. Katsoularis I. et al. Risks of deep vein thrombosis, pulmonary embolism, and bleeding after covid-19: nationwide self-controlled cases series and matched cohort study //bmj. — 2022. — Т. 377. e069590/
63. Kubánková M. et al. Physical phenotype of blood cells is altered in COVID-19 //Biophysical journal. — 2021. — Т. 120. — №. 14. — С. 2838–2847.
64. Osiaevi I. et al. Persistent capillary rarefaction in long COVID syndrome //Angiogenesis. — 2023. — Т. 26. — №. 1. — С. 53–61.
65. Patel M.A. et al. Elevated vascular transformation blood biomarkers in Long-COVID indicate angiogenesis as a key pathophysiological mechanism //Molecular Medicine. — 2022. — Т. 28. — №. 1. — С. 122.
66. Puntmann V.O. et al. Outcomes of cardiovascular magnetic resonance imaging in patients recently recovered from coronavirus disease 2019 (COVID-19) //JAMA cardiology. — 2020. — Т. 5. — №. 11. — С. 1265–1273.
67. Rajpal S. et al. Cardiovascular magnetic resonance findings in competitive athletes recovering from COVID-19 infection //JAMA cardiology. — 2021. — Т. 6. — №. 1. — С. 116–118.
68. Шматова Ю.Е. Психическое здоровье населения в период пандемии COVID-19: тенденции, последствия, факторы и группы риска //Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. — 2021. — Т. 14. — №. 2. — С. 201–224.
69. Беляков Н.А. и др. Отсроченные психические, неврологические и соматические расстройства, ассоциированные с COVID-19 //ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. — 2024. — Т. 15. — №. 4. — С. 53–62.
70. Акименко Г.В., Селедцов А.М., Кирина Ю.Ю. Особенности тревожных расстройств при коронавирусном стрессе //Ответственный редактор. — 2023. [https://kemsmu.ru/science/sci\\_events/Sbornik\\_07.04.23\\_v2.pdf#page=9](https://kemsmu.ru/science/sci_events/Sbornik_07.04.23_v2.pdf#page=9)
71. Roca-Fernández A. et al. Cardiac impairment in Long Covid 1-year post-SARS-CoV-2 infection //medRxiv. — 2022. — С. 2022.04. 03.22272610. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac544.219>
72. Скальный А. Ковид и постковид: микроэлементы и витамины для защиты и восстановления здоровья. — М.: Эксмо, 2022. 249 с.
73. Diaz-Resendiz K.J. G. et al. Loss of mitochondrial membrane potential ( $\Delta \Psi m$ ) in leucocytes as post-COVID-19 sequelae //Journal of Leukocyte Biology. — 2022. — Т. 112. — №. 1. — С. 23–29.
74. Pozzi A. COVID-19 and mitochondrial non-coding RNAs: new insights from published data //Frontiers in Physiology. — 2022. — Т. 12. — С. 805005.
75. Guntur V.P. et al. Signatures of mitochondrial dysfunction and impaired fatty acid metabolism in plasma of patients with post-acute sequelae of COVID-19 (PASC) //Metabolites. — 2022. — Т. 12. — №. 11. — С. 1026.
76. Paul B.D. et al. Redox imbalance links COVID-19 and myalgic encephalomyelitis/chronic fatigue syndrome //Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2021. — Т. 118. — №. 34. — С. e2024358118.
77. Wright J., Astill S.L., Sivan M. The relationship between physical activity and long COVID: a cross-sectional study //International journal of environmental research and public health. — 2022. — Т. 19. — №. 9. — С. 5093.
78. Heerdt P.M., Shelley B., Singh I. Impaired systemic oxygen extraction long after mild COVID-19: potential perioperative implications //British Journal of Anaesthesia. — 2022. — Т. 128. — №. 3. — С. e246–e249.
79. Medina-Perucha L. et al. Self-reported menstrual alterations during the COVID-19 syndemic in Spain: a cross-sectional study //International Journal of Women's Health. — 2022. — С. 529–544.
80. Khan S.M. et al. SARS-CoV-2 infection and subsequent changes in the menstrual cycle among participants in the Arizona CoVHORT study //American Journal of Obstetrics & Gynecology. — 2022. — Т. 226. — №. 2. — С. 270–273.
81. Harlow B.L. et al. Reproductive correlates of chronic fatigue syndrome //The American journal of medicine. — 1998. — Т. 105. — №. 3. — С. 945–995.
82. Thomas N. et al. The underlying sex differences in neuroendocrine adaptations relevant to myalgic encephalomyelitis chronic fatigue syndrome //Frontiers in neuroendocrinology. — 2022. — Т. 66. — С. 100995.
83. Boneva R.S., Lin J. M. S., Unger E. R. Early menopause and other gynecologic risk indicators for chronic fatigue syndrome in women //Menopause. — 2015. — Т. 22. — №. 8. — С. 826–834.
84. Kresch E. et al. COVID-19 endothelial dysfunction can cause erectile dysfunction: histopathological, immunohistochemical, and ultrastructural study of the human penis //The world journal of men's health. — 2021. — Т. 39. — №. 3. — С. 466.
85. Maleki B.H., Tartibian B. COVID-19 and male reproductive function: a prospective, longitudinal cohort study //Reproduction. — 2021. — Т. 161. — №. 3. — С. 319–331.
86. Шахбази Т.А., Никифоров И.А., Костюк Г.П., Бурьгина Л.А., Белова М.Ю. «Психические расстройства при коронавирусной инфекции». Учебное пособие. — М.: 2020. — 22 с.
87. Никифоров В.В., Суранова Т.Г., Миронов А Ю Забозлаев Ф.Г. Новая коронавирусная инфекция (COVID-19): этиология, эпидемиология, клиника, диагностика, лечение и профилактика. — Москва, 2020.
88. Yu J. Z. et al. Lung perfusion disturbances in nonhospitalized post-COVID with dyspnea — A magnetic resonance imaging feasibility study //Journal of Internal Medicine. — 2022. — Т. 292. — №. 6. — С. 941–956.
89. Cho J. L. et al. Quantitative chest CT assessment of small airways disease in post-acute SARS-CoV-2 infection //Radiology. — 2022. — Т. 304. — №. 1. — С. 185–192.

90. Vijayakumar B. et al. Immuno-proteomic profiling reveals aberrant immune cell regulation in the airways of individuals with ongoing post-COVID-19 respiratory disease // *Immunity*. — 2022. — Т. 55. — №. 3. — С. 542–556. e5.
91. Shah W. et al. Managing the long-term effects of covid-19: summary of NICE, SIGN, and RCGP rapid guideline // *bmj*. — 2021. — Т. 372. 136 p.
92. Zhao Y. et al. Follow-up study of the pulmonary function and related physiological characteristics of COVID-19 survivors three months after recovery // *EclinicalMedicine*. — 2020. — Т. 25. 100463 p.
93. Meringer H., Mehandru S. Gastrointestinal post-acute COVID-19 syndrome // *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. — 2022. — Т. 19. — №. 6. — С. 345–346.
94. Zuo T. et al. Depicting SARS-CoV-2 faecal viral activity in association with gut microbiota composition in patients with COVID-19 // *Gut*. — 2021. — Т. 70. — №. 2. — С. 276–284.
95. Zollner A. et al. Postacute COVID-19 is characterized by gut viral antigen persistence in inflammatory bowel diseases // *Gastroenterology*. — 2022. — Т. 163. — №. 2. — С. 495–506. e8.
96. Bitirgen G. et al. Corneal confocal microscopy identifies corneal nerve fibre loss and increased dendritic cells in patients with long COVID // *British Journal of Ophthalmology*. — 2022. — Т. 106. — №. 12. — С. 1635–1641.
97. Barros A. et al. Small fiber neuropathy in the cornea of Covid-19 patients associated with the generation of ocular surface disease // *The Ocular Surface*. — 2022. — Т. 23. — С. 40–48.
98. Bitirgen G. et al. Abnormal quantitative pupillary light responses following COVID-19 // *International Ophthalmology*. — 2022. — Т. 42. — №. 9. — С. 2847–2854.
99. Mardin C.Y. et al. Possible impact of functional active GPCR-autoantibodies on retinal microcirculation in long-COVID // *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. — 2022. — Т. 63. — №. 7. — С. 3315–F0124
100. Sen S. et al. Retinal manifestations in patients with SARS-CoV-2 infection and pathogenetic implications: a systematic review // *International ophthalmology*. — 2022. — Т. 42. — №. 1. — С. 323–336.
101. Щербак С.Г., Вологжанин Д.А., Камилова Т.А. и др. Органоспецифические проявления «длинного COVID» // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. — 2023. — Т. 5. — №. 2. — С. 120–140.а

---

© Никифоров Игорь Анатольевич (narkolog.ipk@mail.ru); Федотов Дмитрий Дмитриевич (double\_dee@mail.ru);  
Костюк Георгий Петрович (pkb1@zdrav.mos.ru); Бурыгина Лариса Андреевна (pkb4@zdrav.mos.ru);  
Белова Майя Юрьевна (pkb4-pb3@zdrav.mos.ru); Истомина Виктория Витальевна (pkb4-pb3@zdrav.mos.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ОСОБЕННОСТИ ИННЕРВАЦИИ ПЕРФОРАНТНЫХ ВЕН ГОЛЕНИ

FEATURES OF INNERVATION  
OF PERFORANT VEINS OF THE CHIB

**O. Osipova**  
**E. Timashov**  
**G. Kormashov**

*Summary.* The epidemiology of chronic venous insufficiency (CVI) remains poorly understood, with most studies confirming an upward trend in morbidity. The work is aimed at studying the innervation of the perforating veins of the leg as a key element in the development of CVI. The main objective of the study is to identify the sources and features of the nervous regulation of the perforating veins, which is important for the development of prevention and treatment methods. The study included intraoperative microscopic examination of nerve fibers in 25 patients, as well as anatomical studies on amputated limbs and cadaveric material. It was found that the innervation of the perforating veins is carried out by the tibial nerve, which maintains the tone of the venous wall and surrounding tissues. The results indicate the importance of nervous regulation in the pathogenesis of CVI and allow us to consider physiotherapeutic methods that stimulate nerve fibers as a promising way to improve the condition of the venous system.

*Keywords:* innervation, perforating veins, venous insufficiency.

## Введение

В настоящее время наблюдается рост заболеваемости хронической венозной недостаточностью (ХВН) среди населения. В России проведено всего три крупных исследования заболеваемости хроническими заболеваниями вен (ХЗВ) и они затрагивали лишь отдельные категории граждан, в основном работающих. Среди них было 63 % женщин и 37 % мужчин (средний возраст 53,5 года). Из всех участников 4,7 % были стадия ХВН по CEAP C0 и 34,3 % были C1 [1, 2,3]. Клинически значимая ХВН (C3–C6) была выявлена у 8,2 %, а венозные язвы (C5–C6) — у 1,1 %. Боль в венах, тяжесть, утомляемость, зуд и ощущение отека были зарегистрированы у 29,1 % пациентов [3,4,7]. Семейный анамнез был значимым фактором риска как сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) (отношение рисков [ОР] 1,3), так и первичной варикозной болезни вен (ОР 1,6;  $p < 0,01$ ) [5,6,8]. Женский пол был фактором риска только ССЗ (ОР 1,3;  $p < 0,01$ ), но не варикозного расширения вен. Возраст был фактором

риска сердечно-сосудистых заболеваний (ОР 1,01) и варикозного расширения вен (ОР 1,02;  $p < 0,01$ ) [9,11,14]. У женщин факторами риска ССЗ были количество родов (ОР 1,05;  $p < 0,05$ ) и менопауза (ОР 1,3;  $p < 0,01$ ) [10, 12, 13]. Менопауза была фактором риска развития варикозного расширения вен (ОР 2,0;  $p < 0,05$ ). Однако можно сделать вывод, что значимыми факторами риска для варикозной болезни служат: возраст, пол, образ жизни, характер питания, наследственность, количество беременностей у женщин и менопауза. Практически у каждого из больных клинически значимой формой ХЗВ (C3–C6 по CEAP) регистрировался сброс по перфорантным венам (ПВ) голени и бедра разной степени выраженности [12,14,15]. Это показывает значительную роль ПВ в формировании и развитии венозной недостаточности.

Целью нашего исследования явилось выяснение наличия и определение источника иннервации перфорантных вен, как важного составляющего звена в развитии венозной недостаточности.

**Осипова Ольга Леонидовна**

*К.м.н., Сибирский государственный  
медицинский университет, г. Томск  
olga\_osipova\_1983@mail.ru*

**Тимашов Евгений Алексеевич**

*Врач-хирург,  
ОГБУЗ «Первомайская районная больница» г. Томск  
evgenyitimashov@yandex.ru*

**Кормашов Глеб Максимович**

*Сибирский государственный  
медицинский университет, г. Томск  
kormashovgleb@yandex.ru*

*Аннотация.* Эпидемиология хронической венозной недостаточности (ХВН) остаётся недостаточно изученной, при этом большинство исследований подтверждают тенденцию к росту заболеваемости. Работа направлена на изучение иннервации перфорантных вен голени как ключевого элемента в развитии ХВН. Основной целью исследования является выявление источников и особенностей нервной регуляции перфорантных вен, что имеет важное значение для разработки методов профилактики и лечения варикозной болезни. В рамках исследования проводилось интраоперационное микроскопическое изучение нервных волокон на 25 пациентах, а также анатомические изыскания на ампутированных конечностях и трупном материале. Было установлено, что иннервация перфорантных вен осуществляется большеберцовым нервом, который обеспечивает поддержание тонуса венозной стенки и окружающих тканей. Полученные результаты свидетельствуют о значимости нервной регуляции в патогенезе ХВН и позволяют рассматривать физиотерапевтические методы, стимулирующие нервные волокна, как перспективный способ улучшения состояния венозной системы.

*Ключевые слова:* иннервация, перфорантные вены, венозная недостаточность.

Поставленные задачи:

1. Интраоперационное изучение иннервации перфорантных вен голени с помощью хирургического микроскопа при оперативных вмешательствах у 25 пациентов;
2. Микроскопическая препаровка перфорантных нервов на трупном материале;
3. Анализ и оценка результатов.

### Материал и методы исследования

Интраоперационное исследование перфорантных вен проводилось на базе НИИ микрохирургии в г. Томск с использованием микроскопов Leica и Carl Zeiss, которые обеспечивали увеличение от 25 до 40 X. Такой высокий уровень увеличения позволял детально изучать микроскопическое строение перфорантных вен и прилегающих нервных структур. Препараты для препаровки, взятые из ампутированных конечностей, были собраны на базе МЦ-2 СибНKFЦ в г. Северск. Дополнительно для анализа использовали ткани трупов, предоставленные Патологоанатомической лабораторией СибГМУ в г. Томск.

Интраоперационные исследования выполнялись больным при проведении флебэктомии с перфотантэктомией с их письменного согласия. При этом давались объяснения о том, что оперативные вмешательства с использованием микрохирургической техники имеют щадящий характер из-за меньшей операционной травмы и приводят к лучшему результату по сравнению с традиционными операциями по срокам госпитализации и полного заживления. Некоторая пролонгация операций по нашим наблюдениям не имела заметного отрицательного эффекта.

В ходе интраоперационного исследования анатомии перфорантных вен у 25 пациентов, которые перенесли хирургическое вмешательство из-за хронической венозной недостаточности, выявлено, что в 14 случаях (58 %) перфорантные вены сопровождалась нервным стволом толщиной 0,3–0,4 мм. В 11 случаях (44 %) нервный ствол входил в мезотелий вены надфасциально, образуя дополнительное нервное сопровождение для венозной стенки.

Препаровка перфорантных вен также была проведена на восьми ампутированных конечностях пациентов, страдающих от атеросклероза сосудов нижних конечностей и ХВН. Среди этих конечностей пять принадлежали мужчинам и три — женщинам. Кроме того, для анализа были использованы 12 трупов с признаками хронической венозной недостаточности (восемь мужских и четыре женских). Основное внимание уделялось препаровке целевой перфорантной вены — перфоранта Коккета, который является одной из наиболее часто встречающихся венозных структур.

### Результаты исследования

При микроскопическом изучении перфорантных вен было выявлено, что в 75 % случаев (15 из 20) перфорантные вены сопровождаются нервным стволиком диаметром 0,3–0,4 мм. В 55 % случаев (11 из 20) этот ствол располагается надфасциально и входит в мезотелий вены, при этом образуя дополнительные ветви толщиной до 0,1 мм, которые иннервируют как саму вену, так и окружающие паравазальные ткани. Такая иннервация подтверждает значимость нервной регуляции в поддержании тонуса перфорантной вены и окружающих структур, что играет роль в её функциональной активности.

Рядом с перфорантной веной Коккета, которая была объектом нашего внимания, проходят сафенный и большеберцовый нервы, и, предположительно, один из них является источником иннервации. Хотя сафенный нерв располагается ближе к ПВ, его участие в иннервации оставалось неясным из-за особенностей хода нерва. Определение источника иннервации и стало основной целью нашей работы.

Исследование сталкивалось с рядом технических сложностей. Нервные стволы диаметром 0,3 мм обладают малой прочностью, хотя и несколько прочнее окружающих тканей. При увеличении 25–40X, необходимым для детального анализа, работа требует особой точности и концентрации даже от опытных специалистов по микрохирургии. В результате этих ограничений в четырех случаях нервы были повреждены, что не позволило полностью отследить их путь. Чтобы уменьшить вероятность ошибок и улучшить точность работы, было решено начинать препаровку с дистального конца нерва, непосредственно от перфорантной вены, поскольку начинать с крупных ветвей сафенного и большеберцового нервов представлялось более трудоёмким и не всегда результативным.

Разницу во встречаемости иннервированных перфорантов в результатах интраоперационных и экспериментальных препаровок можно объяснить тем, что при патологических изменениях в ПВ в ходе развития ХВН происходит редукция нервов и невролиз, или, что более вероятно, иннервированные ПВ менее подвержены дилатации с развитием дальнейших патологических изменений.

### Обсуждение результатов

По завершении исследований были получены следующие результаты: из 16 успешных препаровок перфорантных вен в 3 случаях (18,75 %) было выявлено, что перфорантный нерв непосредственно отходит от основного ствола большеберцового нерва (рис. 1). В остальных 13 случаях (81,25 %) источником иннервации яв-

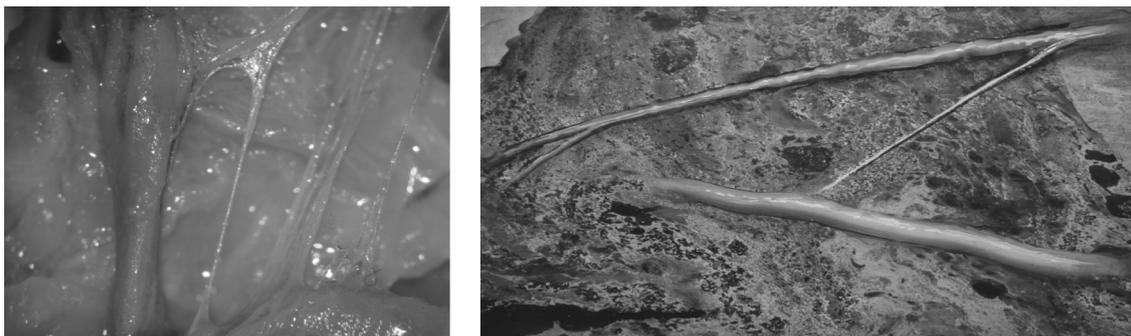


Рис. 1. Вхождение нервных стволиков в мезотелий вены

лялась ветвь большеберцового нерва, расположенная поблизости от основного ствола, что подтверждает ведущую роль этого нерва в иннервации перфорантных вен. В ходе исследования не было обнаружено ни одного случая, в котором сафенный нерв служил бы источником иннервации, несмотря на его анатомическую близость к перфорантным венам. Эти данные позволяют уточнить пути иннервации перфорантных вен и подтвердить значимость большеберцового нерва как основного источника иннервации в данном анатомическом участке.

Для анализа и обработки статистических данных использовалась программа STATISTICA с модулем Descriptive statistics. Анализ проводился с целью выявления различий в частоте сопровождения перфорантной вены нервными стволами и артериями у женщин и мужчин, а также для детального описания анатомических особенностей нервного сопровождения перфорантных вен в зависимости от пола. Для сравнения частоты встречаемости этих анатомических признаков был использован точный тест Фишера, который не выявил статистически значимых различий в иннервации перфорантной вены между мужчинами и женщинами ( $p = 0,224$ ,  $OR = 0,42$ ). Эти результаты позволяют заключить, что анатомические особенности иннервации перфорантных вен схожи для представителей обоих полов, что может способствовать разработке универсальных подходов к лечению и профилактике хронической венозной недостаточности, не требующих учёта половых различий.

### Заключение

Проведённое исследование показало, что перфорантные вены голени имеют иннервацию в большинстве случаев, что подтверждает их связь с нервной системой и важность нервного контроля в регуляции венозного тонуса. Наличие нервных волокон в непосредственной близости от перфорантных вен подчеркивает их роль

в обеспечении функционального состояния венозных стенок и прилегающих тканей.

Источником иннервации перфорантных вен является большеберцовый нерв, который обеспечивает основное нервное сопровождение, необходимое для поддержания тонуса венозной стенки. Отсутствие значимого вклада сафенного нерва в иннервацию перфорантных вен позволяет сфокусироваться на исследованиях и терапии, ориентированных именно на большеберцовый нерв, что может улучшить целенаправленность лечебных воздействий.

Иннервация перфорантных вен носит симпатический характер и отвечает за поддержание тонуса стенок вен, а также за состояние паравенозных тканей. Эта симпатическая регуляция играет ключевую роль в предотвращении избыточного расширения венозных стенок и поддержании их функциональной активности. Таким образом, симпатические волокна большеберцового нерва обеспечивают структурную устойчивость венозной системы и её адаптацию к изменениям гемодинамических нагрузок.

Физиотерапевтическая стимуляция нервов в области перфорантных вен, например, с использованием высокочастотных токов, представляется перспективной методикой для повышения тонуса перфорантных вен и улучшения состояния окружающих тканей. Воздействие на симпатические волокна способствует укреплению венозных стенок, повышению их устойчивости к растяжению, что, в конечном счёте, снижает риск развития хронической венозной недостаточности (ХВН). Регулярная стимуляция может стать важным дополнением к существующим методам профилактики и лечения ХВН, способствуя поддержанию здорового состояния венозной системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Адылханов Ф.Т., Фурсов А.Б. Варикозная болезнь нижних конечностей — анализ эффективности хирургического лечения на современном этапе. Обзор литература // Наука и Здравоохранение. 2017. Т2С 128–143.
2. Глухов А. Хроническая венозная недостаточность // Мед газета. 2008. №87. С.8.
3. Долго-Сабуров Б.А. Иннервация вен: (Эксперихт-морфат исследование). Л.: Медгиз, 1958.307 с.
4. Епифанов Д.И., Кузнецов А.В., Белых А.В. и др. Первый опыт эндоскопического субфасциального клипирования несостоятельных перфорантных вен нижних конечностей // Ангиология и сосудистая хирургия. 2001. Т.7, №1. С 26–27.
5. Золотухин ИА. Факторы риска хронической венозной недостаточности нижних конечностей и возможности ее медикаментозного лечения // Хирургия. 2006. Т.8, №1. С.40–43.
6. Золотухин И.А., Богачев В.Ю., Кузнецов АЛ. и др. Недостаточность перфорантных вен голени: критерии и частота выявления // Флебология. 2008. Т.2. С. 21–26.
7. Калинин Р.Е., Сучков И.А., Шанаев И.Н. и др. Оценка результатов флебэктомии без лигирования несостоятельных перфорантных вен при варикозной болезни вен нижних конечностей // Вестник хирургии имени И.И. Грекова. 2017. Т.176, №1. С. 46–51.
8. Кириенко А.И., Золотухин И.А., Кузнецов А.Н. и др. Отдаленные результаты эндоскопической диссекции перфорантных вен голени при хронической венозной недостаточности // Ангиол. и сосуд, хир. 2007. Т.13, №2. С. 68–72.
9. Кушурцев В.В. Роль эндоскопической диссекции перфорантных вен у больных с хронической венозной недостаточностью в стадии трофических расстройств / В.В. Кушурцев // Антология и сосудистая хирургия. 2000. Т.6, №4. С. 42–47.
10. Максимов М.Л., Ермолаева А.С., Вознесенская А.А. и др. Хронические заболевания вен: особенности патогенеза и рациональные подходы к терапии // РМЖ «Медицинское обозрение». 2018. М С. 25–29.
11. Оганов Р.Г., Савельев В.С., Шалькова С.А. и др. Факторы риска хронической венозной недостаточности нижних конечностей // Тер арх. 2006,— №4. С.68–72.
12. Российские клинические рекомендации лечения заболеваний вен: хирургическое лечение. 2013. Т.7, №2. С. 28–32.
13. Шайдаков Е.В., Булатов В.Л., Чумасов ЕИ. и др. Структурные особенности варикозно расширенной большой подкожной вены у пациентов разных возрастных групп. Новости хирургии. 2014. Vol 22, №5. С. 560–567.
14. Blomgren L, Johansson G., Dahlberg-Akerman A. Ct al. Changes in superficial and perforating vein reflux after varicose vein surgery. J Vase Surg 2005, Vol. 42, no. 2. pp. 315–320.
15. Burch G.E, Murtadha M. A study of the venomotor tone in a short intact venous segment of the forearm of man. Am Heart J, 1956, Vol 51, no. 6, pp. 807–828.

© Осипова Ольга Леонидовна (olga\_osipova\_1983@mail.ru); Тимашов Евгений Алексеевич (evgenytimashov@yandex.ru);  
Кормашов Глеб Максимович (kormashovgleb@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЭПИДЕМИОЛОГИИ И ПРОФИЛАКТИКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

## MODERN ASPECTS OF THE EPIDEMIOLOGY AND PREVENTION OF CARDIOVASCULAR DISEASES

Zh. Pakhomova  
K. Toropov (Grigoryan)  
A. Kurskova

*Summary.* Cardiovascular diseases (CVD) are the leading cause of death and disability worldwide. The main risk factors are hypertension, hyperlipidemia, smoking, overweight, sedentary lifestyle and diabetes mellitus. This paper examines trends in the epidemiology of CVD, new trends and approaches to risk factor management, including through lifestyle changes, drug therapy and improvement of health care systems, the introduction of artificial intelligence and machine processing technologies. The epidemiological situation in the Oryol region and the reasons for the increase in cardiovascular diseases are also described.

*Objective:* to analyze modern data on the epidemiology of cardiovascular diseases, as well as a review of effective methods for their prevention.

*Materials and methods:* open sources from PubMed, Cochrane Library, Cyberleninka.ru databases.

*Keywords:* cardiovascular diseases, obesity, exercise, prevention, modifiable risk factors, artificial intelligence, epidemiology, Oryol region.

**Пахомова Жанна Викторовна**

кандидат медицинских наук, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»

[rahomov\\_medcentr@bk.ru](mailto:rahomov_medcentr@bk.ru)

**Торопов (Григорян) Ксения Арсеновна**

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»

[grigoryan.ksenia@gmail.com](mailto:grigoryan.ksenia@gmail.com)

**Курскова Анастасия Игоревна**

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»

[anastasiakur-skova7@gmail.com](mailto:anastasiakur-skova7@gmail.com)

*Аннотация.* Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются ведущей причиной смертности и инвалидности во всем мире. Основными факторами риска являются артериальная гипертензия, гиперлипидемия, курение, избыточная масса тела, малоподвижный образ жизни и сахарный диабет. В данной работе рассмотрены современные тенденции в эпидемиологии ССЗ, подходы к управлению факторами риска, в том числе посредством изменения образа жизни, медикаментозной терапии и улучшения систем здравоохранения, внедрения технологий искусственного интеллекта и машинной обработки. Также описана эпидемиологическая ситуация в Орловской области и причины роста заболеваемости ССЗ.

*Цель:* провести анализ современных данных по эпидемиологии сердечно-сосудистых заболеваний, а также обзор эффективных методов их профилактики.

*Материалы и методы:* открытые источники из баз данных PubMed, Cochrane Library, Cyberleninka.ru.

*Ключевые слова:* сердечно-сосудистые заболевания, ожирение, физические упражнения, профилактика, модифицируемые факторы риска, искусственный интеллект, эпидемиология, Орловская область.

## Введение

Сердечно-сосудистые заболевания являются основной причиной преждевременной смертности, ответственной за 18,6 миллионов смертей в 2019 году во всем мире. ССЗ, в первую очередь ишемическая болезнь сердца (ИБС) и инсульт, являются основной причиной глобальной смертности, на долю которых в 2019 году пришлось 9,1 миллиона и 6,5 миллионов смертей соответственно [1].

ССЗ были основной причиной смерти в Азии в 2019 году, вызвав 10,8 миллиона смертей, что составило примерно 35 % от общего числа смертей в Азии [2].

Однако следует отметить, что первичная заболеваемость ССЗ в Великобритании снизилась на 20 % в период 2000–2019 гг., что во многом было обусловлено сни-

жением показателей атеросклеротических заболеваний, в частности острого коронарного синдрома, хронической ишемической болезни сердца и инсульта, которые снизились примерно на 30 % в течение 2000–19 гг. [3]. Улучшение показателей смертности от ССЗ сопровождалось увеличением использования первичных профилактических препаратов (антигипертензивных средств и статинов) и интервенционных процедур.

Смертность от ССЗ и заболеваемость в Российской Федерации так же находятся на высоком уровне. В структуре показателей распространенности сердечно-сосудистой патологии лидирующее место занимает артериальная гипертензия, составляя 20–36 % у мужчин и 28–40 % у женщин [4].

В 2030 году прогнозируемое количество смертей, связанных с ССЗ, составит более 23 миллионов во всем

мире [5]. По оценкам ВОЗ на страны с низким и средним уровнем дохода приходится более 3/4 случаев смерти от ССЗ, что в последние годы рассматривается как растущая эпидемиологическая проблема [6].

### Тенденция заболеваемости ССЗ

К середине 20-го века сердечно-сосудистые заболевания стали ведущей причиной смертности и заболеваемости в развитых странах Запада. При этом 80 % смертности от сердечно-сосудистых заболеваний приходится на страны с низким уровнем дохода [7].

Быстрый переход ССЗ из заболевания развитых стран в заболевание, возникающее во всем мире, с ростом распространенности в странах с низкими доходами, является сложным и многофакторным. Произошли изменения в структуре здоровья на фоне серьезных социальных изменений среди населения мира, включая изменения в городской жизни, питании и активности, которые сильно влияют на здоровье сердечно-сосудистой системы.

В 1970 году 37 % населения мира проживало в городах. К 2025 году этот показатель, согласно прогнозам, увеличится до 61 % в развитых странах, но в более низких пропорциях в развивающихся странах. В развитых странах урбанизация сопровождается экономическим ростом, планомерным развитием городской инфраструктуры, увеличением расходов на социальные услуги, образование и здравоохранение. В более бедных странах быстрая урбанизация может происходить без адекватной инфраструктуры, создавая городские трущобы и приводя к большему социально-экономическому неравенству.

Бедные чаще страдают ожирением в развитых странах и реже страдают ожирением в более бедных странах. Это можно объяснить тем, что стоимость калорийных продуктов ниже, чем стоимость менее калорийных продуктов, таких как фрукты и овощи. Поэтому среди жителей городов с небольшим достатком повышение общей калорийности пищи в основном происходит за счет увеличения потребления всех типов жиров, уменьшения потребления цельного зерна и клетчатки. Напротив, в сельской местности общий калораж повышается за счет увеличения потребления фруктов и овощей.

Снижение физической активности и малоподвижный образ жизни, как фактор риска ССЗ, происходит из-за смены типов работ и повышения механизации выполнения одной и той же работы. Также уровень физической активности снизился из-за увеличения сидячего образа жизни в свободное время (например, за компьютером и просмотром телевизора) и меньших затрат энергии в результате увеличения количества транспортных средств.

### КОВИД-19 и ССЗ

Благодаря достижениям общественного здравоохранения в США с 2010 по 2019 год смертность от сердечно-сосудистых заболеваний снизилась на 9,9 %, инсульта — на 5,6 %. Но с 2019 по 2022 год, в период пандемии COVID-19, смертность от сердечно-сосудистых заболеваний увеличилась на 8 %, а от инсульта — на 5,6 % [8]. Рост показателей смертности от ССЗ среди взрослых 2022 году сохранился, несмотря на стабилизацию чрезвычайной ситуации в области общественного здравоохранения. Это нивелировало достижения последнего десятилетия. Кроме того, анализ смертности показал, что среди взрослых в возрасте  $\geq 35$  лет с 2020 по 2022 год произошло почти на четверть миллиона больше смертей от ССЗ, чем ожидалось. Частично объяснять рост смертности от сердечно-сосудистых заболеваний после 2020 года можно тем, что:

- острые сердечные события среди взрослых, госпитализированных с COVID-19, являются обычным явлением;
- люди, перенесшие COVID-19, подвергаются повышенному риску новых или обострения имеющихся сердечно-сосудистых заболеваний в течение 1 года после заражения;
- нежелание пациентов обращаться за медицинской помощью и изменение доступности медицинской помощи в течение нескольких месяцев после начала пандемии могли привести к задержке выявления и лечения острых или хронических сердечно-сосудистых заболеваний и связанных с ними факторов риска [9, 10].

Бубнова и соавторы связывают повышение риска развития острого миокардиального повреждения у больных с COVID-19 с изменением функционирования ренин-ангиотензин-альдостероновой системы. При этом акцентируется внимание на безопасности приема ингибиторов ангиотензинпревращающего фермента и блокаторов рецепторов к ангиотензину II [11].

### Эпидемиологическая ситуация в Орловской области

Сначала рассмотрим данные за 2018–2022 годы по России. Видно, что общее количество всех регистрируемых заболеваний варьируется и имеет тенденцию к увеличению. В 2018 году зарегистрировано 114840,8 тыс. случаев, в то время как в 2022 году — уже 130442,6 тыс. случаев. Следует отметить, что болезни системы кровообращения также следуют этой тенденции: с 4783,7 тыс. в 2018 году до 4928,7 тыс. в 2022 году.

Эти цифры могут свидетельствовать как об увеличении количества заболеваний, так и об улучшении диагностики и регистрации случаев. Также нельзя исключать

Таблица 1.  
Количество заболеваний сердечно-сосудистой системы в России, тыс. [12]

	2018	2019	2020	2021	2022
Все болезни	114840,8	114512,2	111294,3	125022,4	130442,6
болезни системы кровообращения	4783,7	5135,6	4302,5	4455,7	4928,7

Таблица 2.  
Количество заболеваний сердечно-сосудистой системы в Орловской области [13]

	2017	2018	2019	2020	2021
Всего, человек					
Все болезни	728936	768047	750395	754150	801650
болезни системы кровообращения	23192	25287	27121	26051	21449

Таблица 3.  
Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в мире и в России, на 100000 чел. [14]

	2018	2019	2020	2021	2022
В мире (среднее)	298	292	296	301	297
В России	394	383	370	360	353

Таблица 4.  
Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в Орловской области, на 100000 чел.

	2017	2018	2019	2020	2021
Показатель смертности	917,7	914,8	874,6	978,6	965

влияние социальной, экологической и экономической обстановки, оказывающей давление на здоровье населения. Теперь рассмотрим данные по Орловской области. В период с 2017 по 2021 годы общее количество заболеваний также увеличилось: с 728936 случаев до 801650 случаев. Важно отметить, что количество заболеваний системы кровообращения варьировалось, а в 2021 году стало 21449 случаев, что заметно ниже предыдущих лет (например, 27121 случаев в 2019 году). Это может свидетельствовать о колебаниях в данных, вызванных различными факторами, такими как доступность медицинских услуг, качество медицинского обслуживания, изменение образа жизни населения и прочие социально-экономические факторы.

Статистика смертности от сердечно-сосудистых заболеваний в мире и в России показывает, что в целом смертность снижается как в глобальном масштабе, так и в России. Например, в России смертность снизилась с 394 на 100000 человек в 2018 году до 353 на 100000

человек в 2022 году. Это может быть результатом улучшения медицинской помощи, усиления профилактических мер, увеличения доступности лекарств и лечебных методик. Но важно помнить, что снижение смертности не обязательно совпадает со снижением заболеваемости. В Орловской области смертность от заболеваний сердечно-сосудистой системы значительно выше, чем в среднем по России, что обусловлено рядом факторов. Первое, на что стоит обратить внимание, — это отсутствие кардиологического диспансера, который крайне необходим для области. Такое учреждение могло бы существенно снизить уровень смертности, обеспечивая своевременную диагностику и лечение сердечно-сосудистых заболеваний.

Еще одной проблемой является нехватка квалифицированных специалистов в некоторых населенных пунктах области. Жители сельской местности и малых городов сталкиваются с трудностями при попытке получить квалифицированную медицинскую помощь, что также способствует росту смертности от сердечно-сосудистых заболеваний. В местах, где отсутствуют специалисты, люди зачастую вынуждены преодолевать большие расстояния, чтобы получить лечение, что является значительным препятствием для многих из них. В итоге заболевание зачастую прогрессирует до тех стадий, когда лечение становится менее эффективным. Эти проблемы требуют комплексного подхода для улучшения ситуации. Необходимо создание специализированных медицинских учреждений, проведение профилактических программ, а также привлечение и обучение медицинских кадров, особенно в сельских районах. Только такой подход позволит значительно снизить смертность от сердечно-сосудистых заболеваний и улучшить качество жизни жителей Орловской области.

Рост количества заболеваний сердечно-сосудистой системы может привести к значительным социально-экономическим последствиям. Это может включать увеличение расходов на медицинское обслуживание, снижение трудоспособности населения и подобного рода системные проблемы. В результате снижается общая производительность и экономическое благополучие страны. В общем, улучшение ситуации требует комплексного подхода, включающего не только медицинские меры, но и социальные, экономические и экологические аспекты. Важно понимать, что здоровье населения — это многогранный вопрос, требующий внимания со стороны государства, общества и каждого отдельного человека.

#### Факторы риска

Общими факторами риска, которые можно изменить, являются гипертония, диабет, ожирение, гиперлипидемия, курение табака, малоподвижный образ жизни и отсутствие адекватной физической активности.

По результатам исследований INTERHEART и INTERstroke выявлено, что люди в развивающихся странах сталкиваются с теми же факторами риска, что и в развитых странах [15].

### Профилактика ССЗ

Существуют общие подходы к первичной профилактике ССЗ. Следует соблюдать здоровый образ жизни. Рекомендовано повышение и поддержание адекватного уровня физической активности, соответствующая модификация диеты, снижение веса по показаниям, отказ от курения. Согласно исследованию «Глобальное бремя болезней» 2019 года диетические риски связаны с либо чрезмерным потреблением пищи (натрия, трансжирных кислот, подслащенных сахаром напитков, красного мяса и обработанного мяса), либо недостаточным потреблением пищи (цельного зерна, бобовых, овощей, фруктов, орехов и семян, молока, клетчатки, кальция, омега-3 жирных кислот из морепродуктов и полиненасыщенных жирных кислот). Высокий ИМТ ( $\geq 25$  кг/м<sup>2</sup>) усугубляет факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний, включая гипертонию, высокий уровень липидов в плазме, высокий уровень глюкозы в плазме и воспаление, и имеет линейную связь с ишемической болезнью сердца.

Следует проводить скрининг заболеваний и состояний, связанных с высоким риском сердечно-сосудистых заболеваний (сахарный диабет, гипертония и гиперлипидемия).

У лиц из группы высокого риска можно рассмотреть возможность назначения обычных лекарств, таких как аспирин и статины. Однако приверженность к фармакологическому лечению несмотря на то, что изначально высока, затем постепенно снижается в течение следующих нескольких лет. Для некоторых групп населения, например, при лечении статинами, соблюдение режима лечения может снизиться на целых 50 % через 1 год.

Лицам с предшествующими сердечно-сосудистыми заболеваниями требуется вторичная профилактика, и, в дополнение к изменению образа жизни, показаны эффективные препараты, которые, как доказано, предотвращают повторение событий в будущем. Прием гипотензивных, сахароснижающих и гиполипидемических препаратов инициируется раньше при наличии множественных факторов риска.

Риск ССЗ у пациентов с сахарным диабетом 2 более чем в два раза выше, чем у тех, у кого его нет. При установленном сердечно-сосудистом заболевании следует рассмотреть возможность применения агонистов рецепторов ГПП-1 и ингибиторов натрий-глюкозного ко-транспортера 2 [16].

### Машинное обучение и цифровые технологии здравоохранения

Искусственный интеллект (ИИ) относится к вычислительным системам, которые способны выполнять задачи, которые обычно требуют человеческого интеллекта и принятия решений [17].

Текущие данные свидетельствуют о том, что машинное обучение (МО) превосходит традиционные инструменты прогнозирования риска сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, опросник ACC/ANA рекомендовал терапию статинами для 46 % исследуемой популяции несмотря на то, что 24 % тяжелых событий сердечно-сосудистых заболеваний произошли у пациентов, которым не рекомендовалось лечение статинами. Напротив, модель ML рекомендовала терапию статинами 11 % когорты, и только 14 % тяжелых сердечно-сосудистых событий произошло у участников, которым не была рекомендована терапия статинами. Модель ML одновременно назначила бы меньше статиновых препаратов и пропустила бы меньше событий, чем оценщик ACC/ANA, что потенциально привело бы к более целенаправленной терапии и улучшенному прогнозированию риска сердечно-сосудистых заболеваний [18].

Умные носимые устройства — это потребительские электронные устройства, которые можно носить на теле в качестве аксессуаров, таких как часы, кольца и браслеты, или встраивать в одежду [19]. Они позволяют оценить тонкие изменения в тенденциях частоты сердечных сокращений с течением времени, таких как частота сердечных сокращений в состоянии покоя, вариабельность частоты сердечных сокращений и восстановление после упражнений, все из которых связаны с сердечно-сосудистым риском.

В исследовании Лима Е., где принимали участие 1558 415 пациентов, анализ ЭКГ МО использовалось для прогнозирования возраста человека, у тех, у кого возраст, прогнозируемый с помощью МО, превышал 8 лет хронологического возраста, риск смертности был на 1,79 выше [20].

Большинство носимых устройств отслеживают физическую активность с помощью трехосевого акселерометра для измерения линейного ускорения и гироскопа для измерения углового движения. Некоторые носимые устройства оценивают VO<sub>2</sub>max на основе частоты сердечных сокращений во время упражнений по сравнению с состоянием покоя [21].

### Выводы

Сердечно-сосудистые заболевания являются одной из ведущих причин смертности во всем мире. Выявление и оценка факторов риска была существенным шагом

для разработки мер по профилактике ССЗ. Благодаря успехам здравоохранения во многих странах в течение десятилетия до начала пандемии ковид-19 отмечалось снижение заболеваемости и смертности от ССЗ. Однако вспышка Ковид-19 ознаменовалась новым ростом смертности от ССЗ, что обусловлено многими факторами. Это требует новых разработок по профилактике ССЗ

и их широкое внедрение в систему здравоохранения и в общество. Искусственный интеллект и машинное обучение имеют потенциал для улучшения профилактической помощи при ССЗ, путем оценки традиционных факторов риска, клинических и лабораторных показателей, данных визуализации, данных носимых устройств и датчиков.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Roth G.A., Mensah G.A., Johnson C.O., Addolorato G., Ammirati E., Baddour L.M., Barengo N.C., Beaton A.Z., Benjamin E.J., Benziger C.P., et al. Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors, 1990–2019. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2020;76:2982–3021. doi: 10.1016/j.jacc.2020.11.010.
- Zhao D. Epidemiological Features of Cardiovascular Disease in Asia. *JACC Asia.* 2021 Jun 15;1(1):1–13. doi: 10.1016/j.jacasi.2021.04.007. PMID: 36338365; PMCID: PMC9627928.
- Conrad N, Molenberghs G, Verbeke G, Zaccardi F, Lawson C, Friday JM, Su H, Jhund PS, Sattar N, Rahimi K, Cleland JG, Khunti K, Budts W, McMurray JVV. *BMJ.* 2024 26 июня;385:e078523. doi: 10.1136/bmj-2023-078523. PMID: 38925788; PMCID: PMC11203392.
- Е.Б. Исаков. Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний // Медицина и экология. 2017. №2 (83). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/epidemiologiya-serdechno-sosudistyh-zabolvaniy>.
- Lozano R., Naghavi M., Foreman K., Lim S., Shibuya K., Aboyans V., Abraham J., Adair T., Aggarwal R., Ahn S.Y., et al. Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet.* 2012;380:2095–2128. doi: 10.1016/S0140-6736(12)61728-0.
- Nawsherwan, Mubarik S, Bin W, Le Z, Sang M, Lin Y, Zheng J, Wang Y. Epidemiological Trends in Cardiovascular Disease Mortality Attributable to Modifiable Risk Factors and Its Association with Sociodemographic Transitions across BRICS-Plus Countries. *Nutrients.* 2023 Aug 28;15(17):3757. doi: 10.3390/nu15173757. PMID: 37686788; PMCID: PMC10489729.
- C.J.L. Murray, T. Vos, R. Lozano, et al. Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010, *Lancet*, 380 (2012), pp. 2197–2223, S. Yusuf, S. Reddy, S. Ounpuu, S. Anand Global burden of cardiovascular diseases *Circulation*, 104 (2001), pp. 2855–2864.
- Trends in Cardiovascular Disease Mortality Rates and Excess Deaths, 2010–2022 Woodruff, Rebecca C. et al. *American Journal of Preventive Medicine*, Volume 66, Issue 4, 582–589.
- Xie, Y · Xu, E · Bowe, B. Long-term cardiovascular outcomes of COVID-19 *Nat Med.* 2022; 28:583–590, Modin, D · Claggett, B · Sindet-Pedersen, C. Acute COVID-19 and the incidence of ischemic stroke and acute myocardial infarction *Circulation.* 2020; 142:2080–2082.
- Dale, CE · Takhar, R · Carragher, R. The impact of the COVID-19 pandemic on cardiovascular disease prevention and management, *Nat Med.* 2023; 29:219–225, Laffin, LJ · Kaufman, HW · Chen, Z. Rise in blood pressure observed among US adults during the COVID-19 pandemic 2022 235–237.
- Бубнова М.Г., Аронов Д.М. COVID-19 и сердечно-сосудистые заболевания: от эпидемиологии до реабилитации. *Пульмонология.* 2020;30(5):688–699. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2020-30-5-688-699>.
- Здравоохранение. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> (дата обращения: 10.09.2024).
- Заболеваемость населения Орловской области. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://57.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/> (дата обращения: 10.09.2024).
- Cardiovascular Diseases. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://ourworldindata.org/cardiovascular-diseases> (дата обращения: 10.09.2024).
- S. Yusuf, S. Hawken, S. Ounpuu, et al. Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study, M.J. O'Donnell, S.L. Chin, S. Rangarajan, et al. Global and regional effects of potentially modifiable risk factors associated with acute stroke in 32 countries (INTERSTROKE): a case-control study *Lancet*, 388 (2016), pp. 761–775.
- Yun JS, Ko SH. Current trends in epidemiology of cardiovascular disease and cardiovascular risk management in type 2 diabetes. *Metabolism.* 2021 Oct;123:154838. doi: 10.1016/j.metabol.2021.154838. Epub 2021 Jul 30. PMID: 34333002.
- Sung JJ, Stewart CL, Freedman V. Искусственный интеллект в здравоохранении: подготовка к пятой промышленной революции. *Med J Aust.* 2020; 213 :253–255.e251. doi: 10.5694/mja2.50755.
- Kakadiaris I.A., et al. Machine learning outperforms ACC /AHA CVD risk calculator in MESA. *J Am Heart Assoc.* 2018;7 doi: 10.1161/jaha.118.009476.
- Bayoumy K., et al. Smart wearable devices in cardiovascular care: where we are and how to move forward. *Nat Rev Cardiol.* 2021 doi: 10.1038/s41569-021-00522-7.
- Lima E.M., et al. Deep neural network-estimated electrocardiographic age as a mortality predictor. *Nat Commun.* 2021;12:1–10.
- Passler S., Bohrer J., Blöching L., Senner V. Validity of wrist-worn activity trackers for estimating VO<sub>2</sub>(max) and energy expenditure. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16 doi: 10.3390/ijerph16173037.

© Пахомова Жанна Викторовна (Pahomov\_medcentr@bk.ru); Торопов (Григорян) Ксения Арсенова (grigoryan.ksenia@gmail.com);  
Курскова Анастасия Игоревна (anastasiakur-skova7@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ УРОВНЕМ ОКСИПРОЛИНА И ДЕПРЕССИЕЙ У ПАЦИЕНТОВ С ОСТРЫМ КОРОНАРНЫМ СИНДРОМОМ НА ФОНЕ НЕДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ДИСПЛАЗИИ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ

## THE RELATIONSHIP BETWEEN OXYPROLINE LEVELS AND DEPRESSION IN PATIENTS WITH ACUTE CORONARY SYNDROME ON THE BACKGROUND UNDIFFERENTIATED DYSPLASIA CONNECTIVE TISSUE

**O. Sultanova**  
**E. Chernysheva**  
**E. Khatamova**  
**I. Kadirov**  
**O. Butsukina**  
**G. Akhmedpashaev**  
**A. Rasulzade**

*Summary.* The leading positions in mortality and disability both in the Russian Federation and abroad are occupied by the pathology of the cardiovascular system. It is important to note that cardiovascular diseases often develop against the background of genetic factors, such as undifferentiated connective tissue dysplasia. There is also a close relationship between cardiovascular diseases on the background of undifferentiated connective tissue dysplasia and mental disorders, especially affective, such as anxiety and depression. The article investigates the relationship of the level of oxyproline (as a marker of dysplasia) on psychological features of patients with acute coronary syndrome against the background of undifferentiated connective tissue dysplasia.

Based on a careful selection of 528 patients, 220 patients with ACS were included in the study, of whom 113 had SNDST. The groups were comparable by age and sex.

*Methods of research:* physical, laboratory, instrumental, special methods of research (immunoenzymatic analysis to determine the level of the following parameters: to confirm undifferentiated connective tissue dysplasias the level of human antibodies to collagens of type II and III — oxyproline (OR) was determined), determination of Mg concentration in blood serum was carried out according to the standard technique specified in the Simco Mg determination kit.

Diagnosis of undifferentiated connective tissue dysplasia was carried out on the basis of questionnaire according to Elykomov V.A. and Kopylov A.N. (detection of 6 or more stigmas of dysembryogenesis).

The following programs were used for statistical analysis of the obtained data: IBM SPSS Statistics 28 and StatTech v. 3.1.8.

In the course of the study we studied and analyzed: level of OR, determined the incidence of depression syndrome in patients of the studied groups and obtained the following results — the level of OR in patients with ACS on the background of undifferentiated connective

**Султанова Оксана Эседуллаевна**

кандидат медицинских наук, ассистент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
 Министерства здравоохранения Российской Федерации  
 oksanka.sultanova@mail.ru

**Чернышева Елена Николаевна**

доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
 Министерства здравоохранения Российской Федерации  
 lena.chernysheva@inbox.ru

**Хатамова Энеджан Азизовна**

Ординатор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
 Министерства здравоохранения Российской Федерации  
 enedzanhatomova@gmail.com

**Кадиров Иззат Хамракулович**

Ординатор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
 Министерства здравоохранения Российской Федерации  
 izzatkadirov0410@gmail.com

**Буцукина Олеся Николаевна**

Ординатор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
 Министерства здравоохранения Российской Федерации  
 simanovaolesa65@gmail.com

**Ахмедпашаев Гаджи Тагирович**

Ординатор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
 Министерства здравоохранения Российской Федерации  
 gadjishka2000@mail.ru

**Расулзаде Арзу Газанфар кызы**

Ординатор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
 Министерства здравоохранения Российской Федерации  
 arzu\_rasulzade@mail.ru

tissue dysplasia is statistically significantly higher than in patients with ACS without undifferentiated connective tissue dysplasia and amounted to 48.6 [46.7; 59.3]  $\mu\text{mol/l}$ ; the incidence of depression in patients with ACS and undifferentiated connective tissue dysplasia amounted to 72 %, in the group of patients with ACS — 39 %. The same proved the correlation between the level of oxyproline and depression in patients with ACS on the background of undifferentiated connective tissue dysplasia. When estimating the level of OR in patients with depression the results were obtained — in the group of depressed patients with ACS with undifferentiated connective tissue dysplasia the level of OR was 48.6 [46.7; 59.3]  $\mu\text{mol/l}$ , which is statistically significantly higher compared to the group of patients with ACS without undifferentiated connective tissue dysplasia ( $p < 0.001$ ). We have established the following pattern, the higher the level of OR and, accordingly, the lower the magnesium level and, as a consequence, the high risk of depressive disorders in patients.

**Keywords:** acute coronary syndrome, undifferentiated connective tissue dysplasia, oxyproline, psychological characteristics, depression.

**Аннотация.** Лидирующие позиции по смертности и инвалидизации как в Российской Федерации, так и за рубежом занимает патология сердечно-сосудистой системы. Важно отметить, что сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) часто развиваются на фоне генетических факторов, таких как недифференцированная дисплазия соединительной ткани (СНДСТ). Так же существует тесная взаимосвязь между ССЗ на фоне СНДСТ и психическими расстройствами, особенно аффективными, такими как тревога и депрессия. В статье исследуется взаимосвязь уровня оксипролина (как маркера дисплазии) на психологические особенности пациентов с острым коронарным синдромом (ОКС) на фоне СНДСТ.

На основании тщательного отбора пациентов из 528 в исследование вошли 220 пациентов с ОКС, из них у 113 имел место СНДСТ. Группы сопоставимы по возрасту и полу.

**Методы исследования:** физикальные, лабораторные, инструментальные, специальные методы исследования (иммуноферментный анализ для определения уровня следующих показателей: для подтверждения СНДСТ определялся уровень антител человека к коллагенам II и III типа — оксипролин (ОР)), определение концентрации Mg в сыворотке крови проводили по стандартной методике, указанной в наборе для определения Mg «Симко».

Диагностика СНДСТ проводилась на основании анкетирования по Елькомову В.А. и Копылову А.Н. (обнаружение 6 и более стигм дисэмбриогенеза).

Для проведения статистического анализа полученных данных применялись программы: IBM SPSS Statistics 28 и StatTech v. 3.1.8.

В ходе исследования мы изучили и проанализировали: уровень оксипролина, определили частоту встречаемости депрессивного синдрома у пациентов исследуемых групп и получили следующие результаты — уровень ОР у пациентов с ОКС на фоне СНДСТ статистически значимо выше, чем у пациентов с ОКС без СНДСТ и составил 48,6 [46,7; 59,3] мкмоль/л; частота встречаемости депрессии у пациентов с ОКС и СНДСТ составила 72 %, в группе пациентов с ОКС — 39 %. Так же доказали взаимосвязь между уровнем оксипролина и депрессией у пациентов с ОКС на фоне СНДСТ. При оценке уровня ОР у пациентов с депрессией были получены результаты — в группе пациентов с депрессией с ОКС с СНДСТ уровень ОР составил 48,6 [46,7; 59,3] мкмоль/л, что статистически значимо выше по сравнению как с группой пациентов с ОКС без СНДСТ ( $p < 0,001$ ). Мы установили следующую закономерность, чем выше уровень ОР и, соответственно, тем ниже уровень магния и как следствие высокий риск развития у пациентов депрессивных расстройств.

**Ключевые слова:** острый коронарный синдром, недифференцированная дисплазия соединительной ткани, оксипролин, психологические особенности, депрессия.

## Введение

Патология сердечно-сосудистой системы занимает лидирующие позиции по смертности и инвалидизации как в Российской Федерации, так и за рубежом. По данным Росстата в 2022 году от данной патологии умерло 831 557 человек [3]. Наиболее распространённой формой ишемической болезни сердца (ИБС) является острый коронарный синдром (ОКС) (инфаркт миокарда (ИМ) и нестабильная стенокардия (НС)), доля которого в структуре смертности составляет более 15 % каждый год.

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются ведущей причиной смертности и инвалидности населения, как в России, так и во всем мире. По данным Федеральной службы государственной статистики, в 2022 году смертность от сердечной патологии составила 831 557 человек. ОКС, являющийся наиболее распространённой формой ишемической болезни сердца, ежегодно уносит жизни более чем 15 % населения [3].

Существует тесная взаимосвязь между ССЗ и психическими расстройствами, особенно аффективными, такими как тревога и депрессия [1;2;6]. Особую опасность представляет депрессия, которая наблюдается у 30 %

пациентов в течение года после перенесённого ИМ, негативно влияя на течение заболевания, и увеличивает риск смерти в два раза. Исследования многих авторов показывают, что у людей с депрессивными симптомами риск развития ИМ в 1,5–4,5 раза выше, чем у тех, кто не подвержен депрессивным расстройствам.

Депрессия также часто встречается у пациентов с сердечной недостаточностью. По прогнозам ВОЗ, к 2030 году депрессия станет одной из ведущих причин сокращения продолжительности жизни [4; 6; 8; 9]. Одним из механизмов развития депрессии может быть дефицит магния, который также часто встречается у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Важно отметить, что сердечно-сосудистые заболевания часто развиваются на фоне генетических факторов, таких как недифференцированная дисплазия соединительной ткани. У почти 30 % пациентов с этой патологией наблюдаются аномалии и пороки развития сосудов сердца, что может способствовать раннему развитию атеросклероза [7].

Из литературных источников известно, что почти у 30% пациентов с СНДСТ диагностируют анатомические особенности сосудов сердца в виде высокой частоты аномалий и пороков развития, что может являться плацдармом для раннего развития атеросклеротического процесса.

Таким образом, изложенная выше информация позволила сформулировать цель исследования.

*Цель исследования:* изучить и проанализировать взаимосвязь между уровнем оксипролина и депрессией у пациентов с острым коронарным синдромом на фоне синдрома недифференцированной дисплазии соединительной ткани.

## Материалы и методы

Нами было проведено открытое продольное (динамическое) сравнительное и наблюдательное исследование с участием 528 пациентов с ОКС (ИМ или НС) с целью выявления связи между степенью тяжести СНДСТ и депрессией у пациентов с ОКС.

Исследование проводилось в соответствии со стандартами клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинской Декларации. Протокол исследования был одобрен Региональным независимым этическим комитетом. От всех пациентов и лиц контрольной группы было получено информированное согласие на участие.

В исследование были включены 220 пациентов, соответствующих критериям включения: возраст от 35

до 65 лет, ОКС, развившийся не позднее 12 часов от момента развития ангинозного приступа. Из исследования были исключены пациенты, отказавшиеся от участия, лица моложе 35 лет и старше 65 лет, пациенты с тяжелыми пороками сердца, некоронарогенными заболеваниями сердца, острыми и хроническими заболеваниями в фазе обострения, злокачественными новообразованиями, болезнями крови, неконтролируемой артериальной гипертензией, сердечной недостаточностью IIБ–III стадии и III–IV ФК, заболеваниями почек, печени, легких с тяжелым нарушением функции.

Диагноз ОКС устанавливался на основании клинических данных, жалоб пациента, анамнеза и результатов инструментальных исследований, в соответствии с действующими клиническими рекомендациями российских и международных организаций [3]. Всем участникам исследования проводились общепринятые клинико-лабораторные и инструментальные исследования, включая физикальные, лабораторные и инструментальные методы.

Диагностика СНДСТ проводилась на основании клинических рекомендаций с использованием анкетирования по Елыкомову В.А. и Копылову А.Н. [5].

Для определения содержания уровня антител человека к коллагенам II и III типа методом ИФА (ОР в сыворотке крови) в образцах плазмы использовался метод иммуноферментного анализа по инструкции содержание ОР в сыворотке крови до 12,68 мкмоль/л считается физиологичным.

Для дифференциальной диагностики депрессивных состояний и состояний, близких к депрессии использовали методику дифференциальной диагностики В. Зунга (адаптация Т.И. Балашовой).

Для обработки данных использовались программы IBM SPSS Statistics 28 и StatTech v. 3.1.8.

## Результаты исследования

В ходе исследования нами было изучено содержание оксипролина у пациентов исследуемых групп (таблица 1).

Как видно из данных таблицы, уровень ОР у пациентов как с ОКС, так и у пациентов с ОКС с СНДСТ статистически значимо отличался от группы контроля.

Мы изучили и проанализировали частоту встречаемости депрессивного синдрома у пациентов исследуемых групп (рисунок 1).

Таким образом, среди пациентов с ОКС с СНДСТ частота встречаемости депрессии составила 72 %, в группе пациентов с ОКС — 39 %, а в группе сравнения 37 %.

Таблица 1.

Уровень ОР у пациентов исследуемых групп, n=291

Показатель	Группа контроль (n = 50)	Группа пациентов с ОКС (n = 128)	Группа пациентов с ОКС с СНДСТ (n = 113)	Kruskal Wallis test
ОР, мкмоль/л	8,3 [1,6; 12,3]	18,3 [13,8; 25,0] $p_1 < 0,001$	48,9 [37,5; 59,4] $p_1 < 0,001$ ; $p_2 < 0,001$	$\chi^2 = 249,41$ ; df = 2; $p < 0,0001$

Примечание: p — уровень статистической значимости коэффициентов корреляции.

Таблица 2.

Частота встречаемости депрессии у пациентов с СНДСТ и с ОКС на фоне СНДСТ, n = 220

Группа СНДСТ (n = 81)		Группа ОКС с СНДСТ (n = 113)	
Нет депрессии	Есть депрессия	Нет депрессии	Есть депрессия
51 (66 %)	30 (37 %) $\chi^2 = 30,44$ ; df = 1; $p_1 < 0,001$	31 (28 %) $\chi^2 = 8,10$ ; df = 1; $p_2 = 0,004$	82 (72 %) $\chi^2 = 0,58$ ; df = 1; $p_1 = 0,045$ ; $\chi^2 = 16,98$ ; df = 1; $p_2 < 0,001$

Примечание:  $p_1$  — уровень статистической значимости различий в группе пациентов с СНДСТ с депрессией и без депрессии, и в группе пациентов с ОКС с СНДСТ с депрессией и без депрессии;

$p_2$  — уровень статистической значимости различий между группами пациентов с СНДСТ и с ОКС на фоне СНДСТ с депрессией и без депрессии

По данным таблицы 2, в группе пациентов с ОКС с СНДСТ было выявлено статистически значимое превалирование количества пациентов с депрессией по сравнению с группой пациентов с СНДСТ ( $p < 0,001$ ).

При оценке уровня ОР у пациентов с депрессией получены результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3.

Уровень ОР у пациентов с депрессией в исследуемых группах, n = 322

Показатель	Группа ОКС (n = 128)	Группа ОКС с СНДСТ (n = 113)
Депрессия	50 человек (39 %)	82 человек (72 %)
ОР, мкмоль/л	18,1 [13,9; 24,9] $p_1 < 0,001$	48,6 [46,7; 59,3] $p_1 < 0,001$

Примечание:  $p_1$  — между группой пациентов с ОКС и с ОКС с СНДСТ.

В группе пациентов с депрессией с ОКС на фоне СНДСТ уровень ОР составил 48,6 [46,7; 59,3] мкмоль/л, что было статистически значимо выше по сравнению как с группой пациентов с ОКС без СНДСТ ( $p < 0,001$ ).

При проведении нами корреляционного анализа были получены результаты, представленные в таблице 4.

Таблица 4.

Корреляционная связь между Mg и ОР у пациентов в исследуемых группах, n=241

Показатель	Группа ОКС (n = 128)	Группа ОКС с СНДСТ (n = 113)
Mg / ОР	$r = -0,79$ ; $p < 0,001$	$r = -0,95$ ; $p < 0,001$

Примечание: r — коэффициент корреляции, p — уровень статистической значимости коэффициентов корреляции.

В группе ОКС с СНДСТ выявлено наличие обратной очень сильной связи между ОР и уровнем Mg, в группе

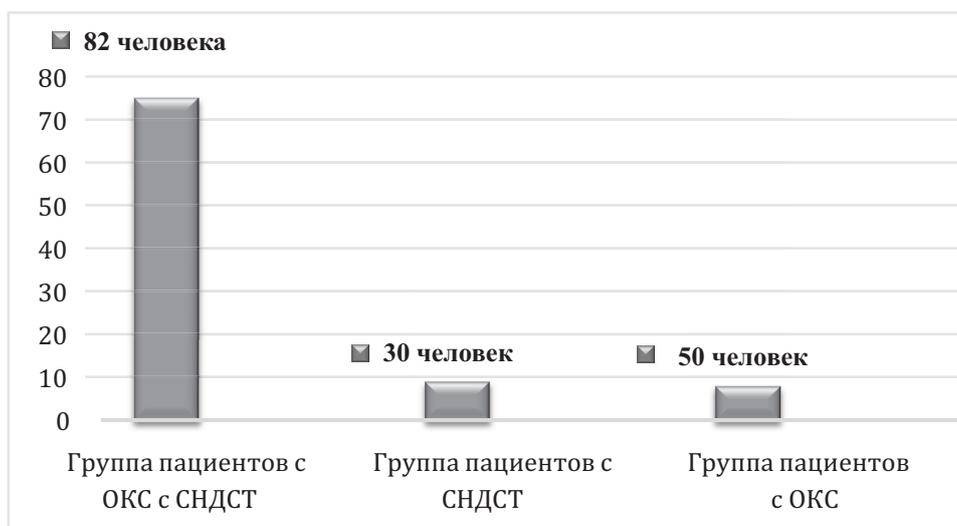


Рис. 1. Частота встречаемости депрессивного синдрома у изучаемых групп пациентов

Примечание — достоверность различий показателей между 1 и 2, 3 группами ( $p < 0,05$ )

ОКС связь тоже была отрицательная, но менее выраженная.

При изучении уровня Mg у пациентов с депрессией в зависимости от наличия СНДСТ получены результаты, представленные в таблице 5.

Таблица 5.  
Уровень магния у пациентов с депрессией в исследуемых группах, n = 322

Показатель	Группа ОКС (n = 107)	Группа ОКС с СНДСТ (n = 113)	Группа СНДСТ (n = 81)
Депрессия	50 человек (39 %)	82 человека (72 %)	30 человек (37 %)
Mg, ммоль/л	0,8 [0,71; 0,87] $p_1 < 0,001$	0,62 [0,51; 0,71] $p_1 < 0,001; p_2 < 0,001$	0,88 [0,75; 0,99]

Примечание:  $p_1$  — по сравнению с группой пациентов с СНДСТ;  $p_2$  — между группой пациентов с ОКС и с ОКС с СНДСТ.

В результате проведенного исследования наименьший уровень Mg был выявлен в группе пациентов с ОКС с СНДСТ, что составило 0,62 при интерпроцентильных размахах 0,51 и 0,71 ммоль/л, что было статистически значимо ниже как по сравнению с группой пациентов с СНДСТ ( $p < 0,001$ ), так и по сравнению с группой пациентов с ОКС ( $p < 0,001$ ). Этому можно дать следующее объяснение, Mg выполняет ключевую функцию в работе центральной нервной системы — принимает участие в регуляции состояния клеточной мембраны, трансмембранном переносе ионов кальция и натрия, метаболических реакциях по образованию, накоплению, переносу и утилизации энергии, свободных радикалов и продуктов их окисления. Потребность в Mg увеличивается при психологических стрессах, одним из которых является ОКС. Таким образом, пациенты, входящие в наше исследование, составляют группу очень высокого риска по развитию депрессии — в патогенезе дисплазии соединительной ткани лежит гипомагнемия, и наличие ОКС, будет способствовать еще большему снижению уровня Mg, за счет увеличения его расхода. Кроме этого, нарастание коэффициента Ca/Mg приводит к гиперкоагуляции и усилению высвобождения катехоламинов, замыкая порочный круг при стрессе и утяжеляя депрессию.

Это свидетельствует о том, что увеличение уровня ОР приводит к дефициту Mg, снижая его реабсорбцию. Кроме этого, сам ОКС у пациентов с СНДСТ усугубляет дефицит Mg из-за высокой его потребности на фоне гиперсимпатикотонии, замыкая порочный патогенетический круг. Mg принимает участие в процессах регуляции действия рецепторов глутамата N-метил-D-аспартата (NMDA) в головном мозге. Данные рецепторы выполняют значимую функцию в процессах памяти и обучении. Глутамат очень важный нейротрансмиттер, ко-

торый необходим для физиологической работы мозга, но в гиперконцентрации он приводит к чрезмерной стимуляции клеток, что в конечном итоге приводит к гибели клеток и ассоциировано с развитием: инсульта, болезнь Паркинсона, рассеянный склероз, судорог, депрессии и тревоги. Mg тормозит действие глутамата на NMDA-рецепторы, таким образом, если в организме наблюдается гипомагнемия, то часть NMDA-рецепторов заблокированы. Altura B. было обнаружено снижение уровня Mg в спинномозговой жидкости у пациентов с депрессивными расстройствами.

Таким образом, выявлена ассоциация увеличения риска развития депрессии в зависимости от уровня оксипролина в плазме крови.

## Выводы

В ходе исследования нами было изучено содержание оксипролина у пациентов с ОКС на фоне СНДСТ (уровень ОР у пациентов с ОКС и у пациентов с ОКС с СНДСТ статистически значимо отличался). В нашем исследовании мы рассмотрели вопросы развития депрессивного синдрома у пациентов с острым коронарным синдромом на фоне СНДСТ и без него. Частота встречаемости депрессии среди пациентов с ОКС и СНДСТ составила 72 %, в группе пациентов с ОКС — 39 %, а в группе пациентов только с дисплазией 37 %. Что позволило нам убедиться в существенном вкладе степени тяжести дисплазии соединительной ткани в развитие депрессивных расстройств, что совпадает с данными ряда авторов — у пациентов с дисплазией соединительной ткани имеет место низкая эмоциональная устойчивость и высокая ситуационная тревожность, что выражается в снижении динамических показателей психической активности и высоким риском развития депрессии. Мы установили, что у пациентов с симптоматикой депрессивного расстройства в 1,5–4,5 раза выше риск заболеть ИМ, чем при ее отсутствии. Так же доказали взаимосвязь между уровнем оксипролина и депрессией у пациентов с острым коронарным синдромом на фоне СНДСТ. При оценке уровня ОР у пациентов с депрессией были получены результаты — в группе пациентов с депрессией с ОКС с СНДСТ уровень ОР составил 48,6 [46,7; 59,3] мкмоль/л, что статистически значимо выше по сравнению как с группой пациентов с ОКС без СНДСТ ( $p < 0,001$ ). Так же при проведении нами корреляционного анализа выявлено в группе ОКС с СНДСТ наличие обратной очень сильной связи между ОР и уровнем Mg, в группе ОКС связь тоже была отрицательная, но менее выраженная. При изучении уровня Mg у пациентов с депрессией в зависимости от наличия СНДСТ получены результаты, наименьший уровень Mg был выявлен в группе пациентов с ОКС с СНДСТ, что составило 0,62 при интерпроцентильных размахах 0,51 и 0,71 ммоль/л, что было статистически значимо ниже как по сравнению с группой

пациентов с СНДСТ ( $p < 0,001$ ), так и по сравнению с группой пациентов с ОКС ( $p < 0,001$ ). В нашем исследовании мы установили следующую закономерность, чем выше

уровень ОР и, соответственно, тем ниже уровень магния и как следствие высокий риск развития у пациентов депрессивных расстройств.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.И., Лялюкова Е.А. и соавт. Структурные изменения коронарных сосудов у пациентов с дисплазией соединительной ткани (кросс-секционное наблюдение) // Лечащий врач. — 2016. — №2. — С. 27–29.
2. Арсентьев В.С. Наследственные нарушения соединительной ткани как конституциональная основа полиорганной патологии у детей / В.Г. Арсентьев, В.С. Баранов, Н.П. Шабалов. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: СпецЛит, 2019. — 239 с.
3. Клинические рекомендации Российского научного медицинского общества терапевтов по диагностике, лечению и реабилитации пациентов с дисплазиями соединительной ткани (первый пересмотр) / под ред. А.И. Мартынова. — Текст: непосредственный // Медицинский вестник Северного Кавказа. — 2018. — Т. 3, № 1.2. — С. 137–209.
4. Национальные рекомендации российского научного медицинского общества терапевтов по диагностике, лечению и реабилитации пациентов с дисплазиями соединительной ткани // Медицинский вестник Северного Кавказа, 2016, Т.11, №1–76.
5. Патент на изобретение №2665387 Российская Федерация. Способ диагностики дисплазии соединительной ткани: заявл. 04.05.2017; опубл. 29.08.2018 / Елюкова В.А., Копылова А.Н. — Текст: непосредственный.
6. Петрова, Е.В. Роль дисплазии соединительной ткани в возникновении нетравматического субарахноидального кровоизлияния в молодом возрасте / Е.В. Петрова, Т.Ф. Попова, И.А. Грибачева, Г.К. Тайтубаева // Исследования и практика в медицине. — 2018. — Т. 5. — № 2. — С. 72–29.
7. Султанова О.Э., Чернышева Е.Н. Анатомические особенности коронарных сосудов у пациентов с острым коронарным синдромом на фоне синдрома недифференцированной дисплазии // Актуальные вопросы современной медицины: материалы IV Международной научно-практической конференции прикаспийских государств. — Астрахань: Изд-во Астраханского ГМУ, 2019. — С. 160–162.
8. Шалькевич, Л.В. Недифференцированная дисплазия соединительной ткани как мультисистемная проблема педиатрии / Л.В. Шалькевич, А.К. Сташков, И.В. Жевнеренок, В.А. Прилуцкая // Современные перинатальные медицинские технологии в решении проблем демографической безопасности. — 2021. — №14. — С. 531–540.
9. Яворская М.В., Кравцова Н.А. Показатели психологической адаптации у пациенток с сердечно-сосудистой патологией на фоне синдрома дисплазии соединительной ткани [Электронный ресурс] // Клиническая и специальная психология. 2021. Том 10. № 1. С. 206–223. DOI: 10.17759/cpse.2021100110
10. Nikolenko, V.N. Morphological signs of connective tissue dysplasia as predictors of frequent postexercise musculoskeletal disorders / V.N. Nikolenko [et al.] // BMC Musculoskeletal Disorders. — 2020. — Vol. 21. — art. 660. — 7 pages.

---

© Султанова Оксана Эседуллаевна (oksanka.sultanova@mail.ru); Чернышева Елена Николаевна (lena.chernysheva@inbox.ru); Хатамова Энеджан Азизовна (enedzanhataмова@gmail.com); Кадиров Иззат Хамракулович (izzatkadirov0410@gmail.com); Буцукина Олеся Николаевна (simanovaolesa65@gmail.com); Ахмедпашаев Гаджи Тагирович (gadjijska2000@mail.ru); Расулзаде Арзу Газанфар кызы (arzu\_rasulzade@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЛИЦЕВЫЕ ДУГИ: ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ИХ РОЛИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ

## FACIAL ARCS: A LITERATURE REVIEW OF THEIR ROLE AND EFFECTIVENESS IN ORTHOPEDIC DENTISTRY

I. Khafizov  
I. Rogunov  
L. Allayazova  
V. Akhtyamova

**Summary.** Facial arcs play a key role in orthopedic dentistry as they allow for precise fixation and analysis of the jaw relationships, significantly simplifying the process of diagnosis and treatment. Initially developed in the 19th century, facial arcs have undergone substantial improvements and modifications since then; however, many modern dentists still do not utilize this tool in their practice. This may be due to a lack of knowledge about the benefits of facial arcs or a preference for more traditional methods. Education and increased awareness about the advantages of facial arcs could promote their wider adoption.

**Keywords:** orthopedics, facial arc, analog facial arc, digital facial arc, articulator, technologies in orthopedics, individualization, digitalization in dentistry.

**Хафизов Ирек Раисович**

Доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет  
khafizovirek@mail.ru

**Рогунوف Илья Владимирович**

Врач-стоматолог хирург, ассистент, Казанский (Приволжский) федеральный университет  
iluahiq@gmail.com

**Аллаязова Лейли Сардаровна**

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
allaazova@gmail.com

**Ахтямова Вероника Денисовна**

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
vdakhtyamova@mail.ru

**Аннотация.** Лицевые дуги играют ключевую роль в ортопедической стоматологии, поскольку они позволяют точно фиксировать и анализировать отношения челюстей, что значительно упрощает процесс диагностики и лечения. Первоначально лицевые дуги были разработаны в 19 веке и с тех пор претерпели значительные улучшения и модификации, однако многие современные стоматологи все еще не используют этот инструмент в своей практике. Это может быть связано с недостатком знаний о преимуществах лицевых дуг или предпочтением более традиционных методов. Обучение и повышение осведомленности о преимуществах лицевых дуг могут способствовать их более широкому внедрению.

**Ключевые слова:** ортопедия, лицевая дуга, аналоговая лицевая дуга, цифровая лицевая дуга, артикулятор, технологии в ортопедии, индивидуализация, цифровизация в стоматологии.

### Введение

Лицевая дуга (или артикуляционная дуга) представляет собой стоматологический инструмент, который используется в стоматологии и ортопедической практике для передачи пространственного положения верхней челюсти пациента относительно суставов и основания черепа в артикулятор. Этот прибор позволяет точно воспроизводить окклюзионные связи зубов в лабораторных условиях, что критично для изготовления зубных протезов и других ортопедических конструкций.

#### Конструкция лицевой дуги

Лицевая дуга состоит из нескольких компонентов:

- основной рамы в форме буквы U,
- прикусной вилки,
- упоров (ушных или суставных, а также носового),
- переходного устройства между рамой и вилкой,
- индикатора плоскости.

Рама (дуга) простирается от височных суставов нижних челюстей до центральных верхних резцов, находясь на расстоянии 2–3 см от кожи.

Упоры делятся на два типа — ушные и суставные.

Ушные упоры контактируют с кожей в области наружных слуховых проходов, а суставные — в районе височных суставов верхней челюсти. Прикусная вилка фиксируется на зубном ряду.

**Цель:** провести анализ существующих данных о применении лицевых дуг в ортопедической стоматологии.

### Методы

Был проведен анализ литературы по использованию лицевой дуги и ее преимуществам в протезировании по следующим научным платформам: Web of science, Elibrary, Google Scholar, Киберленинка, ResearchGate, Pubmed. Всего отобрано 24 статьи.

Результаты

Результаты поиска показали, что для эффективного и качественного ортопедического лечения довольно часто требуется применение лицевой дуги.

В работе, представленные Безугловой В.В. было оценено необходимость использования лицевой дуги при протетическом лечении пациентов с полным отсутствием зубов. Автором были проанализированы результаты протетического лечения 5 пациентов с полным отсутствием зубов с использованием лицевой дуги «Arcus KaVo». Было выявлено, что лицевая дуга необходима для определения пространственного расположения верхней челюсти относительно средней черепной ямки. Этот анатомический параметр необходим для гипсования в артикулятор вначале модели верхней челюсти, а затем, по окклюзионным шаблонам, модели нижней челюсти. При изготовлении съёмных протезов при полном отсутствии зубов с использованием лицевой дуги были отмечены следующие положительные моменты:

- уменьшение срока адаптации пациентов к съёмным протезам;
- минимальная окклюзионная коррекция;
- отсутствия болевых ощущений под базисом протезов. Таким образом, изготовление съёмного протеза при полном отсутствии зубов с использованием лицевой дуги повышает качество ортопедического лечения [1].

Силакова А.С. и соавт в своей выпускной квалификационной работе выявили целесообразность применения лицевой дуги в клинической практике ортопедической стоматологии и определили эффективность её использования. В результате анализа информации 28 анкет, заполненных стоматологами-ортопедами, было выявлено, что 21 человек использует индивидуальный артикулятор с лицевой дугой в своей клинической практике (табл. 1).

Таблица 1.

Частота использования ИА и ЛД на стоматологическом ортопедическом приеме

Применение лицевой дуги	Количество врачей, чел.	Частота встречаемости явления, %
Используют	21	75
Не используют	7	25

На приведённой ниже диаграмме (рис. 1) представлена частота использования на ортопедическом приеме лицевой дуги и индивидуального артикулятора. 75 % опрошенных врачей применяют лицевую дугу в своей практике, остальные 25 % её не используют.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование лицевой дуги распространено среди врачей-ор-

Частота применения индивидуального артикулятора и лицевой дуги на ортопедическом приеме



Рис. 1. Частота применения ИА и ЛД на ортопедическом приеме

топедов. Также авторы выявили наиболее популярные среди врачей фирмы индивидуальных артикуляторов и лицевых дуг. Анкетированным было предложено выбрать один или несколько вариантов ответа. По итогам анкетирования авторами были получены данные, представленные в таблице (табл. 2).

Таблица 2.

Распределение фирм производителей ИА и ЛД по частоте применения среди стоматологов-ортопедов

Фирма устройств	Количество врачей, чел.	Частота встречаемости явления, %
Kavo	3	14,3
SAM	4	19
Stratos	4	19
Bio-Art	2	9,5
Amann Girrbach	12	57,1
Gamma	3	14,3
Asa dental	1	4,8

В результате проведённого авторами исследования было выявлено, что наиболее часто врачами-ортопедами используются лицевая дуга и индивидуальный артикулятор фирмы Amann Girrbach (57,1 %). Вторую позицию занимают фирмы SAM и Stratos, частота их встречаемости составляет 19 %. Реже применяются лицевые дуги и индивидуальные артикуляторы фирм Kavo и Gamma (14,3 %), Bio-Art (9,5 %), а также Asa dental (4,8 %).

На гистограмме (рис. 2) наглядно представлено распределение фирм производителей индивидуальных артикуляторов и лицевых дуг по частоте применения среди стоматологов-ортопедов.

В выводах данной работы авторы отметили достоинства применения лицевой дуги, а именно: высокую точность изготовленной конструкции, сокращение ко-

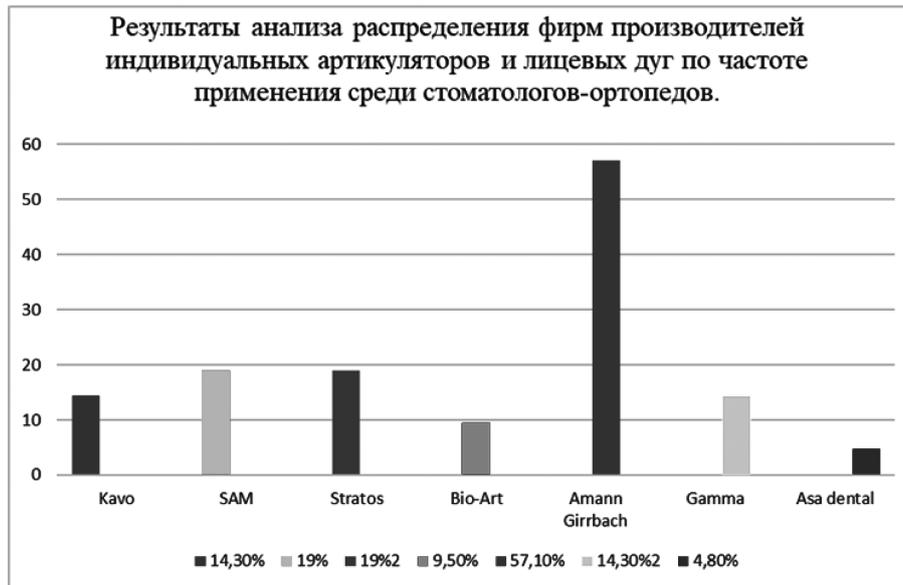


Рис. 2. Результаты анализа распределения фирм производителей индивидуальных артикуляторов и лицевых дуг по частоте применения среди стоматологов-ортопедов

личества визитов пациента к стоматологу-ортопеду для коррекции протеза, а также сокращение количества коррекций конструкции в зуботехнической лаборатории, что говорит об эффективности использования метода в повседневной практике [2].

В статье Мякшева В.В. и соавт. рассматривалась цель оценки удобства и важности использования артикуляторов в сочетании с лицевой дугой. Авторы пришли к выводу, что при наличии различных дефектов в зубных рядах необходимо учитывать индивидуальные особенности пациента. Лицевая дуга предоставляет такую возможность, что делает ее незаменимым инструментом в практике и позволяет достигать высоких результатов в диагностике и лечении [3].

В исследовании Маркова А.А. соавт. наблюдали 60 пациентов с полным вторичным отсутствием зубов и различными типами атрофии альвеолярных гребней обеих челюстей, которым была проведена окклюзионная реабилитация. В 30 случаях (1-я группа) изготовлены полные съемные протезы с использованием лицевой дуги и артикуляторов типа Arkon (Kavo Protar evo 7), и в 30 случаях протезирование выполнено по общепринятой методике с использованием окклюдаторов (2-я группа).

### Результаты исследования

Через 3 месяца в 1-й группе жевательная эффективность составила 85 %, а время жевания увеличилось на 4 с (28 %). Во 2-й группе жевательная эффективность составила 78 %, а время пережевывания возросло на 8 с (57 %). В среднем адаптация к съемным протезам в 1-й группе происходила в течение 2 недель, а количество коррекций не превышало двух. Во 2-й группе в 18 случа-

ях понадобилось более пяти посещений для коррекций протезов, и только 12 пациентов имели удовлетворительную стабильность и адаптировались к протезам в течение 4 недель (количество коррекций у них составило менее четырех). Через 3 месяца все 30 конструкций, изготовленных с применением артикулятора и лицевой дуги, соответствовали требованиям, предъявляемым к полным съемным протезам, и не требовали коррекции. Из 30 конструкций, изготовленных в окклюдаторе, 11 потребовали различного рода коррекций; в 1 случае конструкция была переделана [4].

Авторами Сиразутдинова А.Р. Хадисова М.И. был проведен эксперимент по изготовлению гипсовых моделей с помощью лицевой дуги и заливки без её использования.

Результаты: в ходе исследования, было выявлено, что модель, отлитая с помощью лицевой дуги, точно отображала положение челюстей относительно костей черепа. И дальнейшая ортопедическая конструкция изготавливалась по данной модели. Готовый протез припосовался без коррекции [5].

Автор Нигматов Р.Н. и соавт. определили наиболее рациональный способ переноса параметров зубочелюстной системы пациентов. Были обследованы 45 пациентов с физиологическими видами прикуса и дефектами зубных рядов в боковых отделах в возрасте 25–45 лет, которых разделили на 3 группы по 15 в каждой. Первую группу составили пациенты, перенос параметров зубочелюстно-лицевой системы которых осуществляли традиционным, произвольным методом. Во 2-ю группу вошли больные, перенос параметров зубочелюстно-лицевой системы которых осуществлялся по средним

значениям с использованием установочного ключа (балансира). Параметры зубочелюстно-лицевой системы пациентов 3-й группы переносились в артикулятор по индивидуальным значениям при помощи лицевой дуги. Результаты исследования сводятся к тому, что в 1-й группе у 9 (20,0 %) больных наблюдались суперконтакты при протрузионном движении нижней челюсти. У 13 (28,8 %) пациентов суперконтакты возникали при латеральном движении нижней челюсти на рабочей и балансирующей сторонах (рабочие и балансирующие суперконтакты соответственно). Пациенты 2-й группы при наличии множественных фиссурно-бугорковых контактов в статике имели единичные суперконтакты на балансирующей стороне (балансирующие суперконтакты). У 5-ти (11,1 %) пациентов выявлено нежелательное «групповое ведение» на рабочей стороне, но что принято считать вариантом нормы. Пациенты 3-ей группы при стабильной центральной окклюзии имели оптимальные характеристики динамической окклюзии. Лишь у 1 (2,2 %) больного наблюдали суперконтакт в области премоляров на балансирующей стороне, не препятствующий свободному движению нижней челюсти (балансирующий суперконтакт). Суперконтакты на рабочей стороне отсутствовали. Поэтому, одним из наиболее важных компонентов в диагностике и лечении в ортопедической стоматологии — определение положения окклюзионной плоскости относительно височнонижнечелюстных суставов пациента и перенос объективной информации в артикулятор. Перенос индивидуальных параметров осуществляется только с помощью лицевой дуги [6].

В своей работе Николаев Р.С. обосновал необходимость применения лицевой дуги в ортопедической стоматологии и выявил, что в современной ортопедической стоматологии применение лицевой дуги — неотъемлемый атрибут при изготовлении качественных, индивидуально подобранных ортопедических конструкций, что в свою очередь, способствует: нормализации положения височно-нижнечелюстного сустава; воссозданию индивидуальности, естественности и эстетичности улыбки пациентов; протезированию, не требующему длительного периода адаптации; исключению возможных осложнений ортопедического лечения [7].

Лосев В.Ф. и соавт. опираясь на клинический опыт, учитывая сложную взаимосвязь элементов ВНЧС, принимая во внимание особенности психотипа личности пациентов, предлагают внедрение в повседневную практику стоматолога-ортопеда лицевой дуги. Также авторами были описаны преимущества и недостатки методики работы с полурегулируемым артикулятором и среднеанатомической лицевой дугой: финансовая доступность описанной методики позволяет использовать данное сочетание артикулятора и лицевой дуги для изготовления любой ортопедической конструкции, независи-

мо от топографии дефекта зубного ряда; возможность осуществлять движения нижней челюсти относительно верхней по пространственным окклюзионным кривым, что невозможно в артикуляторах, имеющих стандартные настройки суставных углов. К недостаткам авторы отнесли ограниченность применения этого комплекса у пациентов, имеющих широкий тип лица, когда расстояние между суставными головками значительно превышает фиксированные настройки артикулятора (110 мм). Связано это с тем, что мышечковые направляющие имеют ограниченные по длине суставные пути, и в этом случае использование комплекса приведет к искажению индивидуальных окклюзионных кривых [8].

Собир Р.К. в своей статье описал основные ошибки при изготовлении металлокерамических зубных протезов и один из перечисленных пунктов — это выполнение ортопедических работ (особенно объёмных) без артикулятора и лицевой дуги [9].

Ермолина Ю.А. и соавт. определили алгоритм гипсовых моделей в артикулятор SAM с применением лицевой дуги этой же фирмы в привычной окклюзии. В ходе работы ими было принято 17 пациентов, получены оттиски с верхней и нижней челюстей, регистрат прикуса, гипсовые модели, отпечатки поверхностей зубов на прикусной вилке, которые использовались для гипсовки в артикулятор с применением лицевой дуги. Авторами был определен алгоритм гипсовки моделей верхней и нижней челюстей в артикулятор SAM в привычной окклюзии с применением лицевой дуги. Полученный опыт показал, что использование артикулятора с лицевой дугой в практике врача-стоматолога позволяет получить функциональный результат лечения [10].

В работе Семеновой О.С. и соавт. отмечают, что еще в 1887 году Хайес изобрёл первую лицевую дугу, которая передавала положение верхней челюсти в артикуляторе относительно височно-нижнечелюстных суставов, а в 1899 году Г. Б. Сноу усовершенствовал лицевую дугу и способствовал ее широкому применению в стоматологической практике. Авторы отметили, что использование лицевой дуги позволяет изготовить различные конструкции протезов с учетом индивидуальных параметров движений нижней челюсти и повышает качество ортопедического лечения пациентов [11].

В исследовании Ahlers MO et.al были выделены две группы: первая группа использовала перенос лицевой дуги для установки гипсовых моделей, а вторая группа применяла средние значения для фиксации слепков. Оценивались такие параметры, как надежность передачи и точность. Заключение исследования показывает, что использование произвольной лицевой дуги значительно улучшает перенос значений для фиксации, что способствует повышению надежности и точности [12].

Авторами Nascimento D.F. et. al. было проведено исследование, в котором гипсовые модели пациентов были разделены на две группы: группа А — с использованием лицевой дуги, и группа В — без ее применения. Оценивались параметры, такие как количество окклюзионных контактов и удовлетворенность пациентов. Заключение исследования показывает, что использование лицевой дуги обеспечивает лучший комфорт, стабильность и меньшую нагрузку на поддерживающие ткани по сравнению с отсутствием ее применения [13].

В рамках исследования авторами Kawai Y et.al пациенты были разделены на две группы, каждая из которых получила протезы, изготовленные по разным методам: группа Т — с использованием лицевого переноса, и группа S — без него. Оценивались параметры стоимости производства и трудозатрат врача. Заключение исследования указывает на то, что средняя общая стоимость изготовления зубного протеза была значительно выше, а клиницист потратил на клиническую помощь на 90 минут больше времени при использовании лицевой дуги [14].

В работе Vecchia MP et. al. пациенты были разделены на две группы: группа С — протезы, изготовленные традиционным способом с использованием лицевой дуги, и группа S — протезы, изготовленные упрощенным способом без лицевой дуги. Возраст испытуемых составил от 57 до 74 лет. Критериями оценивания стали стоимость производства, рабочее время врача и ассистента стоматолога, а также количество корректировок после установки. Результаты исследования показали, что упрощенный метод является менее затратным для пациентов и более эффективным с точки зрения временных затрат для врачей, ассистентов и самих пациентов [15].

В статье Косых Б.А. и соавт. отмечается роль лицевой дуги в диагностике ВНЧС. Височно-нижнечелюстной сустав (ВНЧС) играет ключевую роль в функционировании челюсти. Для его диагностики высокоэффективным методом является аксиография, которая осуществляется с использованием лицевой дуги. Этот подход позволяет точно оценить состояние сустава и его движений, что делает диагностику более информативной и надежной. Лицевая дуга способствует получению точных данных, что значительно повышает эффективность исследования [16].

В работе Шик И.В. был описан клинический случай реабилитации пациента с частичной адентией верхней челюсти, 3 класс по Кеннеди, феномен Попова — Годана в области зубов 37, 47, стираемость зубов, снижение высоты нижнего отдела лица. В ходе реабилитации автор использовал комплект лицевой дуги Asa Dental и SAM. В комплект лицевой дуги Asa Dental входит сама дуга с ушными упорами, носовой упор, несколько различных прикусных вилок, срединный штифт и переносной

штифт. Однако автор отметил некоторые неудобства применения данного комплекта лицевой дуги, а именно: неудобство заключается в том, что при присоединении прикусной вилки необходимо зажать винт, который ее удерживает. Это требует определенного усилия, что иногда приводит к смещению прикусной вилки. Второе неудобство — это то, что необходимо последовательно зажать два фиксирующих переносные штифты винта.

Для этого также необходимо усилие, которое может привести к смещению прикусной вилки. Кроме того, артикулятор, который используется в дальнейшем, почти не регулируется. Он изначально настроен по средним углам сагиттального и трансверзального суставных путей. Поэтому при применении артикулятора и лицевой дуги Asa Dental достаточно получить только регистраторы центральной окклюзии. Далее автор описывает применение лицевой дуги фирмы SAM. Отмечается, что лицевая дуга SAM позволяет более точно перенести оси вращения ВНЧС в артикулятор, так как он обладает большими настройками. Также описаны некоторые преимущества применения дуги SAM: меньше регулирующих винтов, а сама дуга устанавливается не по камперовской горизонтали, а по франкфуртской. Эта дуга обладает еще одним преимуществом. Для фиксации прикусной вилки к дуге достаточно зажать один винт. В дальнейшем полученный комплекс передается в зуботехническую лабораторию, где осуществляется перенос в артикулятор.

В конце автор резюмирует что, применение лицевых дуг и артикуляторов является необходимым для воспроизведения движений нижней челюсти и воссоздания наиболее рациональной анатомической формы зубов [17].

Авторы Арестанова Э.А., Матыцина И.В. в своем исследовании поставили перед собой цель доказать важность правильного пространственного положения пациента при использовании лицевой дуги. Также авторами было отмечено, что полная адентия подразумевает отсутствие зубного признака центральной окклюзии, что усложняет определение центрального соотношения челюстей. При изготовлении полных съемных протезов с данной патологией необходим дополнительный ориентир-лицевая дуга, которая позволяет определить у пациента положение верхней челюсти, затем перенести его в артикулятор. В рамках работы они провели исследование на 10 пациентах с применением лицевых дуг «Bio-Art», артикулятора «ASADENTAL» и силиконового оттискового материала «Silagum». Были определены произвольные эталонные точки, относительно которых авторы провели анализ моделей, зафиксированных в артикулятор. В результате они пришли к выводу, что не все стоматологи-ортопеды уделяют достаточное внимание положению пациента в пространстве при использовании лицевой дуги, что может привести к изменению воскового базиса при изготовлении полного съемного протеза [18].

Беляев А.А. и соавторы описали различные методы установки моделей челюстей в пространстве между рамами артикулятора. Один из этих методов включает использование лицевой дуги. Авторы подчеркнули, что данный способ является наиболее распространенным. Однако авторами была описана проблема, связанная с использованием этого метода. Состоит она в том, что в результате асимметрии лица и положения слуховых каналов определение окклюзионной плоскости носит очень субъективный характер. При дисфункции ВНЧС в результате смещения диска, положение слухового канала на пораженной стороне может отличаться от положения слухового канала на здоровой стороне [19].

### Заключение

В данной статье мы провели всесторонний обзор литературы, в котором проанализировали как русскоязычные, так и англоязычные исследования по вопросу применения лицевой дуги в стоматологической практике. Русскоязычные публикации акцентируют внимание на множестве преимуществ, связанных с использованием лицевой дуги, включая эффективность, индивидуальный подход и высокие результаты при создании ортопедических конструкций. В то же время, англоязычные

исследования указывают на отсутствие значительной разницы в клинических результатах при использовании лицевой дуги, подчеркивая, что применение этого инструмента зачастую связано с увеличением затрат и временными затратами для врача.

В последние годы ряд исследований подтвердил, что использование лицевой дуги не предоставляет клинически значимых преимуществ по сравнению со средней установкой, согласно данным скандинавских исследований [20,21,22]. Для уточнения о преподавании и использовании лицевой дуги стоит отметить, что в скандинавских странах обучение и применение лицевых дуг были прекращены, тогда как в Китае 97 % протезистов сообщают о редком использовании данного метода [23].

Согласно обзору литературы, зарубежные авторы полагают, что более простые методы изготовления полного съемного протеза могут обеспечить результаты, сопоставимые с теми, которые достигаются при использовании более сложных технологий [24].

Таким образом, результаты нашего обзора свидетельствуют о необходимости дальнейших клинических исследований для более точного определения роли лицевой дуги в ортопедической стоматологии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Безуглова В.В. Использование лицевой дуги в качестве антропометрического ориентира при конструировании зубных рядов при полном отсутствии зубов // Актуальные проблемы экспериментальной и клинической медицины — Волгоград: Волгоградский государственный медицинский университет, 2017. — С. 259.
2. Силакова А.С., Костюничев В.В., Поленс А.А. Использование лицевой дуги на стоматологическом ортопедическом приеме: оценка эффективности. Выпускная квалификационная работа. Санкт-Петербург, 2020.
3. Мякшев, В.В., Матыцина, Т.В. Лицевая дуга // Бюллетень медицинских интернет-конференций. — 2018. — Т. 8, № 2. — С. 76.
4. Марков, А.А., Мухлаев, С.Ю., Тен, В.Л., Бочаров, В.С. Функционально направленное протезирование при полном вторичном отсутствии зубов // Тихоокеанский медицинский журнал. — 2013. — № 1. — С. 91.
5. Сиразутдинова, А.Р., Хадисова, М.И. Лицевая дуга как неотъемлемая часть в изготовлении современных зубных протезов // Сборник тезисов 92-й Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых. — Казань: Казанский государственный медицинский университет, 2018. — С. 526.
6. Нигматов, Р., Насимов, Э., & Рустамбеков, У. (2010). Сравнительная оценка качества изготовленных зубных протезов при разных способах переноса параметров зубочелюстной системы в артикулятор osung. *Стоматология*, 1(1-2(41-42)), 100–103.
7. Николаев Р.С. Применения лицевой дуги в ортопедической стоматологии // Бюллетень медицинских интернет-конференций. — 2015. — Т. 5. — № 11. — С. 1302.
8. Лосев, В.Ф., Лосев, Ф.Ф., Пьянзин, В.И., Пьянзина, А.В., Турбин, А.В. Практическое применение лицевых дуг и артикуляторов в клинике ортопедической стоматологии: учебное пособие. — Москва, 2021.
9. Собрин, Р.К. Допущенные ошибки при изготовлении металлокерамических зубных протезов, методы их устранения и реставрации. — 2021. — С. 78.
10. Ермолина, Ю.А., Захаров, А.А. Особенности гипсовки моделей в артикулятор SAM 2 в привычной окклюзии // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. — 2023. — Вып. I, № 2. — С. 31–34.
11. Семёнова, О.С., Косых, Б.А., Ольшанская, Т.А. Особенности работы с регулируемым артикулятором при изготовлении ортопедических конструкций протезов // Бюллетень медицинских интернет-конференций. — 2018. — Т. 8. — С. 299.
12. Ahlers MO, Edelhoff D, Jakstat HA. Исследование «Reproduction accuracy of articulator mounting with an arbitrary face-bow vs. average values — a controlled, randomized, blinded patient simulator study» опубликовано в журнале *Clin Oral Investig* в 2019 году (23:1007–14).
13. Nascimento DF, Patto RB, Marchini L, da Cunha VP. Исследование «Double-blind study for evaluation of complete dentures made by two techniques with and without face-bow» было опубликовано в журнале *Braz J Oral Sci* в 2004 году (3:439–45).
14. Kawai Y, Murakami H, Takanashi Y, Lund JP, Feine JS. Исследование «Efficient resource use in simplified complete denture fabrication» опубликовано в журнале *J Prosthodont* в 2010 году (19:512-6).

15. Vecchia MP, Regi RR, Cunha TR, de Andrade IM, da Matta JC, de Souza RF. Исследование «Randomized trial on simplified and conventional methods for complete denture fabrication: Cost analysis» опубликовано в журнале J Prosthodont в 2014 году (23:182-91)
16. Косых, Б.А., Ежицкий, П.М. Использование метода аксиографии в диагностике заболеваний височно-нижнечелюстного сустава // Бюллетень медицинских интернет-конференций. — 2019. — Т. 9, № 7. — С. 300.
17. Шик И.В. Лицевые дуги и артикуляторы в клинической и лабораторной ортопедической практике // Современная стоматология. — 2018. — №3 (72). — С. 87–90. — Минск, Республика Беларусь.
18. Арестанова Э.А., Матыцина И.В. Особенности применения лицевой дуги при изготовлении зубных протезов у пациентов с полной вторичной адентией // Bulletin of Medical Internet Conferences. — 2019. — Т. 9, № 7. — С. 300.
19. Бизяев А.А., Коннов В.В., Пылаев Э.В., Коннов С.В. Влияние анатомических ориентиров на выбор способа переноса гипсовых моделей в артикуляторе // Бюллетень медицинских интернет-конференций. — 2015. — Т. 5. — № 11. — С. 1302.
20. Pröschel PA, Maul T, Morneburg T. Predicted incidence of excursive occlusal errors in common modes of articulator adjustment. Int J Prosthodont 2000;13:303-10.
21. Shodadai SP, Türp JC, Gerdst, Strub JR. Is there a benefit of using an arbitrary facebow for the fabrication of a stabilization appliance? Int J Prosthodont 2001;14:517-22.
22. Petropoulos VC, Rashedi B. Complete denture education in U.S. dental schools. J Prosthodont 2005;14:191-7.
23. Wang MQ, Xue F, Chen J, Fu K, Cao Y, Raustia A. Evaluation of the use of and attitudes towards a face-bow in complete denture fabrication: A pilot questionnaire investigation in Chinese prosthodontists. J Oral Rehabil 2008;35:677–81.
24. Suman V., Sonnahalli N.K., Chowdhary R. Use of Facebow Device in Prosthodontics: A Systematic Review on Randomized Control Trials // The Journal of Indian Prosthodontic Society. — 2021. — Т. 21, № 1. — С. 17.

---

© Хафизов Ирек Раисович (khafizovirek@mail.ru); Погунов Илья Владимирович (iluahiq@gmail.com);  
Аллаязова Лейли Сардаровна (allaazova@gmail.com); Ахтямова Вероника Денисовна (vdakhtyamova@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## Наши авторы

**Aceh T.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, FGBOU «MSTU» Maykop

**Addas Safouh** — PhD Student, MGTU «STANKIN», STANKIN Moscow State Technical University

**Akhmedpashaev G.** — Resident, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Medical University» Ministry of Health of the Russian Federation

**Akhtyamova V.** — Kazan (Volga) Federal University

**Aksenov S.** — Doctor of Economics, Professor, Ufa State University of Science and Technology

**Allayazova L.** — Kazan (Volga) Federal University

**Astashkin A.** — Head of the Organizational and Methodological Department, Statistician of the Federal State Budgetary Institution «Federal Center for Cardiovascular Surgery» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Penza

**Barova N.** — MD, PhD, Associate Professor, Kuban State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Krasnodar

**Bazylev V.** — MD, Chief Physician of the Federal State Budgetary Institution «Federal Center for Cardiovascular Surgery» of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Belova I.** — PhD, leading researcher laboratory of the human microbiome and means of its correction, Academician I.N. Blokhina Nizhny Novgorod Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology; Privolzhsky Research Medical University

**Belova M.** — psychiatrist, head of the branch «V.A. Gilyarovskiy Psychiatric Hospital», Moscow State Medical University, «Psychiatric Clinical Hospital No. 4 named after P.B. Gannushkin»

**Berdysh D.** — Assistant, Non-profit educational private institution of higher education «Kuban Medical Institute», Krasnodar

**Beslangurova Z.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Medicine Federal State Budgetary Institution of Higher Education «Maikop State Technological University» Krasnodar

**Bochkarev A.** — Ph.D., Oryol State University I.S. Turgenev

**Bolgar E.** — MIREA — Russian University of Technology

**Bucharskaya A.** — Candidate of Biology Sciences, Associate Professor, Head of the Experimental Oncology Research Center, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky of the Ministry of Health of the Russian Federation

## Our authors

**Budchenko A.** — Ph.D. biol. sciences, senior researcher of laboratory of proteomic analysis Federal Government Health Institution «Volgograd Plague Control Research Institute» of the Federal Service for Surveillance in the Sphere of Consumers Rights Protection and Human Welfare

**Burygina L.** — Candidate of Medical Sciences, Chief Physician of the State Medical Institution of Moscow «Psychiatric Clinical Hospital No. 4 named after P.B. Gannushkin»

**Butsukina O.** — Resident, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Medical University» Ministry of Health of the Russian Federation

**Chernysheva E.** — Doctor of Medical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Medical University» Ministry of Health of Russia

**Chibiyev V.** — Candidate of Biological Sciences, Director of the Zoological Museum, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University Republic of Sakha (Yakutia)

**Chiskidov S.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia, Khimki (Moscow Oblast)

**Chmelev A.** — Senior Full Stack Engineer, Technical Lead, Specialist in Applied Mathematics and Computer Science, Mathematician, System Programmer, Wildberries LLC

**Dudnik A.** — postgraduate, Saratov Medical university «Reaviz»

**Dyshekova F.** — Assistant Professor, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik

**Dzhamalova S.** — Candidate of Chemical Sciences, Dagestan State University; Dagestan State University of National Economy Department of Physical and Organic Chemistry, Natural Sciences, Makhachkala

**Dzhancharov T.** — Cand. Biol. sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian State Agrarian University-Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

**Ediji A.** — Assistant, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Krasnodar

**Eskina E.** — postgraduate student, assistant, Kuban State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Krasnodar

**Fedotov D.** — Candidate of Medical Sciences, Academy of Postgraduate Education, Federal State Budgetary Institution «Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies, Federal Medical and Biological Agency of Russia

**Fomichev I.** — Candidate of Medicine, Honored doctor of the Russian Federation

**Gabuyev I.** — Assistant, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik

**Gayfullin I.** — undergraduate student, Ufa State University of Science and Technology

**Gladun V.** — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Glamazdin I.** — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Russian Biotechnology University

**Gnoevyh V.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Ulyanovsk State University

**Grigorova A.** — MD, PhD, Kuban State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Krasnodar

**Gromov A.** — Doctor of Medicine, Associate Professor, Kursk State Medical University

**Idrisov R.** — postgraduate student, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Ilchenko G.** — Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, Non-profit educational private institution of higher education «Kuban Medical Institute», Krasnodar

**Ilyushin A.** — Assistant, Penza State University of Architecture and Construction

**Imashev A.** — postgraduate, Saratov State Medical University

**Iofina I.** — Institute of Limnology RAS-FRC RAS, Sankt-Petersburg

**Istomina V.** — psychiatrist, Head of the General Psychiatric Department No. 19 of the V.A. Gilyarovskiy Psychiatric Hospital, a branch of the State Budgetary Healthcare Institution, Moscow, P.B. Gannushkin Psychiatric Clinical Hospital No. 4

**Ivanov E.** — MIREA — Russian University of Technology

**Kachalin V.** — lead programmer, graduate student, Moscow Aviation Institute (National Research University)

**Kadirov I.** — Resident, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Medical University» Ministry of Health of the Russian Federation

**Kalugin A.** — Assistant professor, Moscow Aviation Institute (National Research University)

**Kapralov S.** — Doctor of Medicine Sciences, associate professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Karnakhin V.** — a cardiovascular surgeon at the Cardiac Surgery Department No. 2, Federal State Budgetary Institution «Federal Center for Cardiovascular Surgery» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Penza

**Kashirin M.** — Postgraduate student, Dostoevsky Omsk State University; Software developer, OOO «Simbirsoft»

**Katkova E.** — postgraduate, Saratov Medical university «Reaviz»

**Kazankina A.** — National Research Mordovia State University (Saransk)

**Kazankina E.** — Radiologist, State Medical Institution of the Republic of Moldova «Children's Republican Clinical Hospital» (Saransk)

**Kazankina V.** — Radiologist, State Medical Institution of the Republic of Moldova «Children's Republican Clinical Hospital» (Saransk)

**Khafizov I.** — Associate Professor, Kazan (Volga) Federal University

**Khatamova E.** — Resident, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Medical University» Ministry of Health of the Russian Federation

**Khrustaleva I.** — Candidate of Engineering Sciences, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

**Kormashov G.** — Siberian State Medical University, Tomsk

**Korol E.** — researcher of laboratory of proteomic analysis Federal Government Health Institution «Volograd Plague Control Research Institute» of the Federal Service for Surveillance in the Sphere of Consumers Rights Protection and Human Welfare

**Kosenkova O.** — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Moscow Financial and Industrial University «Synergy»

**Kostyuk G.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Physician of the State Medical University of Moscow, «Psychiatric Clinical Hospital No. 1 named after N.A. Alekseev»

**Kropotov V.** — PhD, senior researcher laboratory of the human microbiome and means of its correction, Academician I.N. Blokhina Nizhny Novgorod Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology; Privolzhsky Research Medical University

**Kurskova A.** — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State University named after I.S. Turgenev»

**Kutenkova M.** — Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian State Agrarian University-Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

**Lagutina N.** — Cand. of Tech. Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian State Agrarian University-Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

**Likh D.** — Non-profit educational private institution of higher education «Kuban Medical Institute»

**Litvinskaya O.** — Penza State University of Architecture and Construction

**Lobanova O.** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Teacher, GBPOU «Moscow State Educational Complex»

**Malinin I.** — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Manohin A.** — Ulyanovsk State University

**Markelova A.** — Postgraduate student, Moscow City University

**Maslyakov V.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Medical University «Reaviz», Saratov

**Medovshchikova S.** — an epidemiologist at the Federal State Budgetary Institution «Federal Center for Cardiovascular Surgery» of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Mikhailova M.** — undergraduate student, Ufa State University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation

**Minkov O.** — graduate student, IATE NRU MEPhI, Obninsk

**Molodtsova S.** — Researcher laboratory of the human microbiome and means of its correction, Academician I.N. Blokhina Nizhny Novgorod Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology

**Molodyakov S.** — Doctor of technical Sciences, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Mustafayev M.** — MD, Professor, Director of the Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik

**Mustafayeva F.** — PhD, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik

**Mustafayeva S.** — PhD, Assistant, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov

**Nikiforov I.** — MD, Professor, Academy of Postgraduate Education, Federal State Budgetary Institution «Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies, Federal Medical and Biological Agency of Russia

**Nikonov D.** — Chief Physician, State Autonomous Healthcare Institution «Yeletskaia Dental Polyclinic»

**Novgorodova Zh.** — Leading methodologist of the Zoological Museum, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University Republic of Sakha (Yakutia)

**Novikov M.** — Ph.D., Oryol State University I.S. Turgenev

**Osipova O.** — Candidate of Medical Sciences, Siberian State Medical University, Tomsk,

**Pakhomova Zh.** — Candidate of Medical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State University named after I.S. Turgenev»

**Pantukhin A.** — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Polidanov M.** — research department specialist, assistant, Private University «Reaviz», Saint Petersburg

**Prokhnitsky A.** — Candidate of Medical Sciences, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov

**Puzakova D.** — National Research Mordovia State University (Saransk)

**Rasulzade A.** — Resident, Federal State Budgetary Educational Institution of higher education «Astrakhan State Medical University» Ministry of Health of the Russian Federation

**Rogunov I.** — Dental surgeon, Assistant, Kazan (Volga) Federal University

**Romashkova O.** — Doctor of Engineering, Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow

**Rusakov A.** — Senior lecturer, MIREA — Russian University of Technology

**Rybak V.** — Candidate of Technical Sciences, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk)

**Safronov D.** — Candidate of Medical Sciences, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

**Schwarzburg L.** — Doctor of Technical Sciences, Professor, STANKIN Moscow State Technical University

**Shaidabekova M.** — Candidate of Biological Sciences, Moscow Financial and Industrial University «Synergy»

**Shalamov D.** — Assistant, Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian State Agrarian University-Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

**Sharov T.** — Ph.D. med. sciences, senior researcher of laboratory of proteomic analysis Federal Government Health Institution «Volgograd Plague Control Research Institute» of the Federal Service for Surveillance in the Sphere of Consumers Rights Protection and Human Welfare

**Shchenin A.** — Candidate of Medicine, Kursk State Medical University

**Sheverdin N.** — Ph.D., Oryol State University I.S. Turgenev

**Shutov D.** — Deputy Chief Medical Officer of the Federal State Budgetary Institution «Federal Center for Cardiovascular Surgery» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Penza.

**Simakova I.** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Higher School of Food Systems Biotechnology, Director of the Scientific and Production Center for Healthy Nutrition Technologies, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Smolkina A.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Ulyanovsk State University

**Solovyova I.** — Doctor of biological sciences, leading Researcher Head of laboratory of the human microbiome and means of its correction, Academician I.N. Blokhina Nizhny Novgorod Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology

**Stekolnikov N.** — associate professor, Saratov State Medical University

**Strizhevskaya V.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Stryukovsky A.** — MD, PhD, Kuban State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Krasnodar

**Sulaev E.** — Private University «Reaviz», Saint Petersburg

**Sultanova O.** — Candidate of Medical Sciences, assistant, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Medical University» Ministry of Health of Russia

**Syrovatkin R.** — Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of the federal state budgetary educational institution of higher education «Volograd State Technical University»

**Timashov E.** — Surgeon, OGBUZ «Pervomaisky District Hospital», Tomsk

**Timerbaev I.** — Postgraduate student, Ulyanovsk State University

**Tochilina A.** — PhD, senior researcher laboratory of the human microbiome and means of its correction, Academician I.N. Blokhina Nizhny Novgorod Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology; Privolzhsky Research Medical University

**Toropov (Grigoryan) K.** — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State University named after I.S. Turgenev»

**Tyryshkin S.** — Ph.D., Polzunov Altai State Technical University

**Uryadov S.** — professor, Saratov Medical university «Reaviz»

**Vashurkina I.** — PhD in Medical sciences, Assoc. Prof. National Research Mordovia State University (Saransk)

**Vorokov A.** — Resident, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik

**Voronin V.** — Post-graduate student, Moscow City University

**Yangolenko D.** — Candidate of Medical Sciences, Ulyanovsk State University

**Yevgrafov A.** — Cand. of Tech. Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian State Agrarian University-Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

**Zakharov Ya.** — Post-graduate student, Moscow City University

**Zhang Nan** — Russian Biotechnology University

## Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

**За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.**

Редакционная коллегия оста вляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

### Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Литература составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- ◆ Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

### Правила написания математических формул.

- ◆ В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- ◆ Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- ◆ Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

### Правила оформления графики.

- ◆ Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- ◆ Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные — 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» ( e-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru) ).