ISSN 2223–2966

СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 6–3 2025 (ИЮНЬ)

Учредитель журнала
Общество с ограниченной ответственностью
«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Журнал издается с 2011 года.

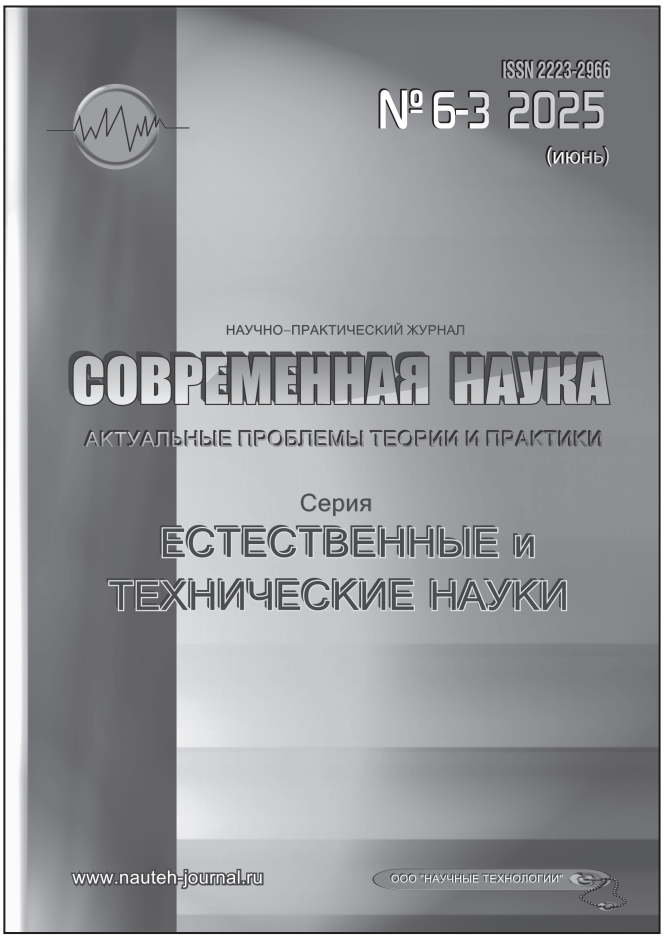
Подписной индекс издания
в каталоге агентства «Пресса России» — 80016

В течение года можно произвести подписку
на журнал непосредственно в редакции.

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.х, 2.3.х, 3.1.х)



В НОМЕРЕ:

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

Издатель:
Общество с ограниченной ответственностью
«Научные технологии»

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

E-mail: redaktor@nauteh.ru
http: //www.nauteh-journal.ru

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

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

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

Подписано в печать 30.06.2025 г. Формат 84х108 1/16
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966
9 7 7 2 2 2 3 2 9 6 6 0 7

Редакционный совет

СОДЕРЖАНИЕ
CONTENTS

Общая биология

Информатика, вычислительная техника и управление

Клиническая медицина

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.05

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВОРОБЬИНООБРАЗНЫХ ПТИЦАХ ЗАКАЗНИКА «МАМОНТОВСКИЙ» (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

SOME INFORMATION ABOUT PASSERINE BIRDS OF THE MAMONTOVSKY RESERVE (ALTAI TERRITORY)

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

Summary. The aim of the work is to summarize the author's and literary data on the population of passerine birds and their habitats in the Mamontovsky Reserve and adjacent territory. The reserve is located in the Altai Territory in the southern part of the Kasmalinsky ribbon pine forest. The scientific novelty and practical significance of the work consists in replenishing the database on the avifauna of the reserve, which should be used to improve measures to protect biodiversity in the region.

Keywords: Altai Territory, reserve, passerine birds, population, habitats.

Важов Сергей Викторович
канд. биол. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет», г. Барнаул
Важов Виктор Маркович
доктор с.-х. наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет», г. Барнаул
vazhov49@mail.ru
Черемисин Алексей Александрович
канд. геогр. наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского», г. Норильск
Яськов Михаил Иванович
доктор с.-х. наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Горно-Алтайский государственный университет», г. Горно-Алтайск
Харченко Дарья Олеговна
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет», г. Барнаул

Аннотация. Цель работы — обобщение авторских и литературных сведений о воробьинообразных птицах и их местообитаниях в Мамонтовском заказнике и сопредельной территории. Заказник расположен в Алтайском крае в южной части Касмалинского ленточного бора. Научная новизна и практическая значимость работы состоит в пополнении банка данных об авифауне заказника, что необходимо использовать в совершенствовании мероприятий по охране биоразнообразия в регионе.

Ключевые слова: Алтайский край, заказник, воробьинообразные птицы, население, местообитания.

Введение

Государственный природный комплексный заказник краевого значения «Мамонтовский» расположен в южной части Касмалинского ленточного бора в Мамонтовском и Романовском районах Алтайского края — его площадь около 10 тыс. га. Отдельные функции заказника предусматривают сохранение и воспроизводство птиц, а также охрану мест их естественного обитания [1, 2].

Распределение популяций птиц в пределах заказника имеет много невыясненных вопросов, так как подвержено значительной флуктуации из-за того, что в Касмалинском бору, включая территорию заказника, проводятся выборочные рубки леса. Трансформация территории в большой степени определяет население, распространение, численность и адаптационные способности птиц. При выборе местообитаний для гнездования существенное значение имеет также внутривидовая конкуренция [3, 4, 5]. Следовательно, изучение авифауны южной части Касмалинского ленточного бора, включая заказник «Мамонтовский», является актуальным.

Цель работы — дополнить современные сведения о населении неворобьиных птиц и их местообитаниях в заказнике «Мамонтовский «.

Материал и методы исследования

Полевые работы выполнены в весенне-летние периоды, начиная с 2012 года и по настоящее время, в заказнике «Мамонтовский» и в сопредельных окрестностях Касмалинского ленточного бора. Эта территория по природным условиям является типичной для данного

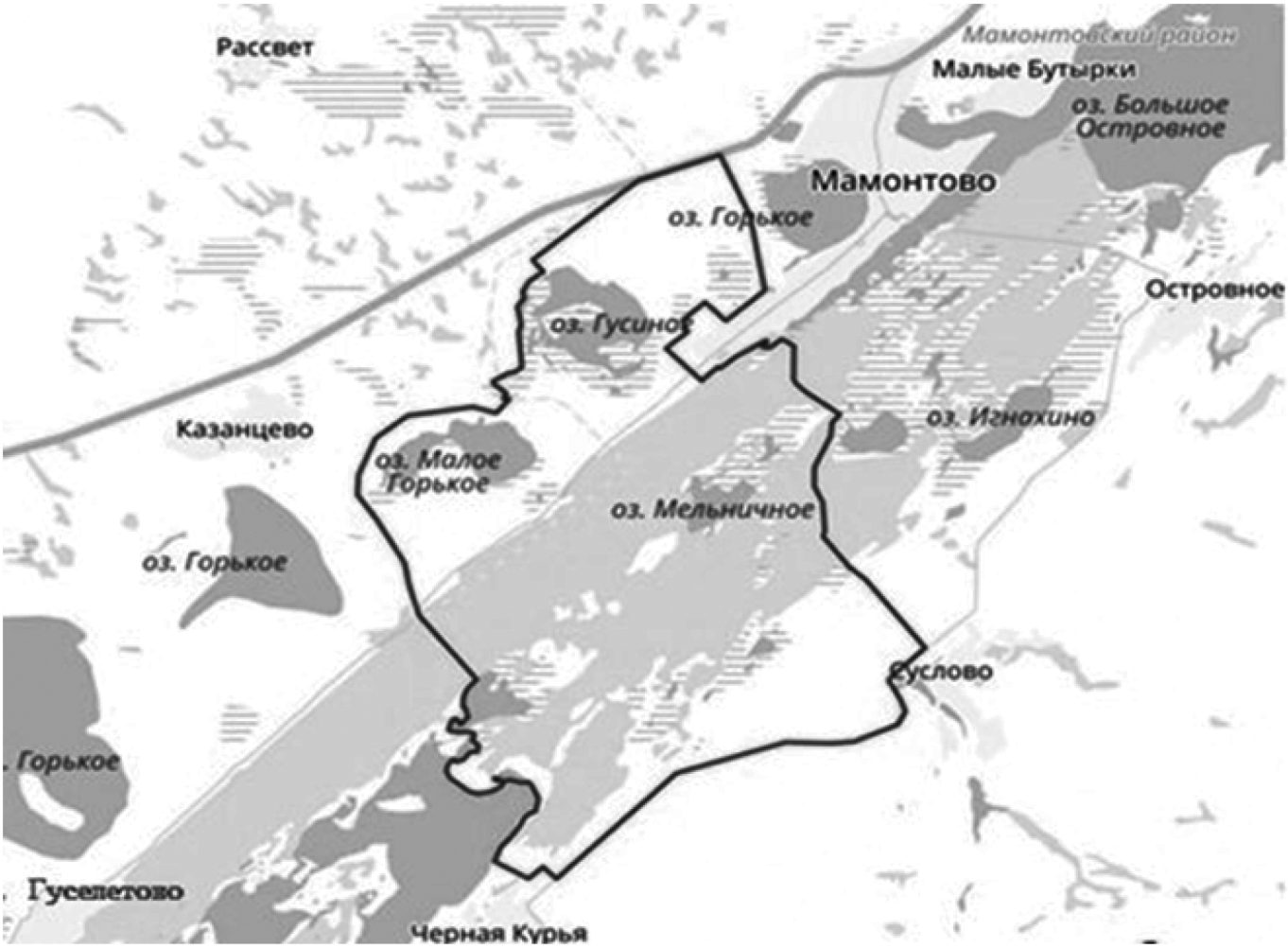


Рис. 1. Карта — схема заказника «Мамонтовский» [1]

лесного массива. В работе использовалась стандартная методика маршрутного учёта с неограниченной полосой наблюдения [6, 7]. Названия видов и расположение систематических групп приведено в соответствии с общепринятыми справочниками и определителями [8, 9].

Результаты и обсуждение

Местообитания птиц в заказнике представляют две основные группы: открытые, преимущественно озёрно-степные и, в целом, лесные (боровые).

Ниже приводится повидовое описание птиц [1, 2, 10].

ОТРЯД ВОРОБЬИНООБРАЗНЫЕ — PASSERIFORMES

Семейство Жаворонковые — Alaudidae

1. Полевой жаворонок (*Alauda arvensis* (Linnaeus, 1758). Обитает на луговых стациях и залежных землях.

Семейство Трясогузковые — Motacillidae

1. Лесной конёк (*Anthus trivialis* (Linnaeus, 1758). Обычен в лесной части заказника.
2. Жёлтая трясогузка (*Motacilla flava* (Linnaeus, 1758). Предпочитает закустаренные травянистые болота.
3. Желтоголовая трясогузка (*Motacilla citreola* (Pallas, 1776). Преобладает в тростниковых зарослях.
4. Белая трясогузка (*Motacilla alba* (Linnaeus, 1758). Обитает в закрытых лесных массивах.

Семейство Иволговые — Oriolidae

1. Обыкновенная иволга (*Oriolus oriolus* (Linnaeus, 1758). Населяет высокоствольный лиственный и сосновый лес.

Семейство Скворцовые — Sturnidae

1. Обыкновенный скворец (*Sturnus vulgaris* (Linnaeus, 1758). Обитает в степной части заказника вблизи болот.

Семейство Врановые — Corvidae

1. Сойка (*Garrulus glandarius* (Linnaeus, 1758). Наблюдается в лесу на территории заказника.
2. Сорока (*Pica pica* (Linnaeus, 1758). Обитает в открытых местах заросшей поймы и лесных опушек.

3. Во́рон (*Corvus corax* (Linnaeus, 1758). Встречается в лесной части заказника.

Семейство Камышовковые — Acrocephalidae

1. Индийская камышевка (*Acrocephalus agricola* (Jerdon, 1845). Обитает в камышовых и тростниковых зарослях по берегам озёр и болот.
2. Садовая камышевка (*Acrocephalus dumetorum* (Blyth, 1849). Многочислена в сыром мелколиственном лесу, на опушках, на луговых стациях и залежных землях.
3. Дроздовидная камышевка (*Acrocephalus arundinaceus* (Linnaeus, 1758). Наблюдается в камышовых и тростниковых зарослях, в кустарнике по берегам озёр и болот.
4. Зелёная пересмешка (*Hippolais icterina* (Vieillot, 1817). Распространена в разновозрастном смешанном лесу с развитым подлеском и обширными полянами.
5. Северная бормотушка (*Hippolais caligata* (Lichtenstein, 1823). Обитает в мелколесье, на луговых закустаренных угодьях, опушках.

Семейство Славковые — Sylviidae

1. Серая славка (*Sylvia communis* (Latham, 1787). Многочислена в кустарниковых зарослях на опушке леса, сплошных лесных массивов избегает.
2. Славка-завирушка (*Sylvia curruca* (Linnaeus, 1758). Обитает в кустарниках по опушкам и полянам разреженного леса с развитым подлеском.
3. Пеночка-теньковка (*Phylloscopus collybita* (Vieillot, 1817). Встречается в светлом сосняке и смешанном лесу.
4. Зелёная пеночка (*Phylloscopus trochiloides* (Sundevall, 1837). Обитает на влажных участках соснового и смешанного леса.

Семейство Мухоловковые — Muscicapidae

1. Серая мухоловка (*Muscicapa striata* (Pallas, 1764). Широко распространена в редколесье, на опушках бора и смешанного леса.
2. Черноголовый чекан (*Saxicola torquata* (Linnaeus, 1766). Обитает в открытых местах на лугах с редкими кустарниками, на окраинах болот.
3. Обыкновенная горихвостка (*Phoenicurus phoenicurus* (Linnaeus, 1758). Распространена в лесной части заказника.
4. Варакушка (*Luscinia svecica* (Linnaeus, 1758). Обычна в кустарниковых зарослях по берегам озёр и в увлажнённых опушках леса.

Семейство Дроздовые–Turdidae

1. Рябинник (*Turdus pilaris* (Linnaeus, 1758). Обитает во влажных местах на полянах и опушках сосняка, смешанного леса, зарастающих лугах.
2. Белобровик (*Turdus iliacus* (Linnaeus, 1766). Встречается вблизи водоёмов в смешанном или лиственном лесу, в мелколесье.

Семейство Длиннохвостые синицы — Aegithalidae

1. Длиннохвостая синица (*Aegithalos caudatus* (Linnaeus, 1758). Населяет окраины лиственного или смешанного леса с развитым кустарником.

Семейство Ремезовые — Remizidae

1. Обыкновенный ремез (*Remiz pendulinus* (Linnaeus, 1758). Обычен в зарослях кустарников по берегам озёр и болот.

Семейство Синицевые — Paridae

1. Буроголовая гаичка (*Poecile montanus* (Conrad von Baldenstein, 1827). Населяет глухие заболоченные участки разных типов соснового и смешанного леса.
2. Белая лазоревка (*Parus cyanus* (Pallas, 1770). Концентрируется в смешанных и лиственных лесах с хорошо развитым подлеском, на высокотравных и тростниковых болотах.
3. Большая синица (*Parus major* (Linnaeus, 1758). Обитает на открытых участках и опушках в разных типах соснового леса, по берегам озёр.

Семейство Поползневые — Sittidae

1. Обыкновенный поползень (*Sitta europaea* (Linnaeus, 1758). Обычен в старых высокоствольных сосновых и смешанных лесах.

Семейство Воробьиные — Passeridae

1. Полевой воробей (*Passer montanus* (Linnaeus, 1758). Распространён в зарослях караганы, светлом редколесье.

Семейство Вьюрковые — Fringillidae

1. Зяблик (*Fringilla coelebs* (Linnaeus, 1758). Обитает на лесных опушках, в редколесье, избегает глухие леса.
2. Щегол (*Carduelis carduelis* (Linnaeus, 1758). Предпочитает смешанное редколесье, опушки леса, лесостепные колки.
3. Обыкновенная чечевица (*Carpodacus erythrinus* (Pallas, 1770). Распространена в зарослях караганы, по лесным опушкам, в смешанном редколесье с кустарниковым подлеском.
4. Урагус (*Carpodacus sibiricus* (Pallas, 1773). Обитает в лесах на кочковатых болотах, поросших травянистой растительностью.
5. Обыкновенный снегирь (*Pyrrhula pyrrhula* (Linnaeus, 1758). Встречаются в хвойных и смешанных лесах.

Семейство Овсянковые — Emberizidae

1. Обыкновенная овсянка (*Emberiza citrinella* (Linnaeus, 1758). Обычна в открытой местности с редкой древесной или кустарниковой растительностью.

2. Белошапочная овсянка (*Emberiza leucocephalos* (Gmelin, 1771). Населяет заросли кустарников, опушки леса.
3. Дубровник (*Emberiza aureola* (Pallas, 1773). Встречается на увлажнённых лугах, по краям болот, в разреженном кустарнике.

Заключение

На территории заказника «Мамонтовский» и в его окрестностях фауна воробьинообразных птиц включает 40 видов из 16 семейств. Наиболее многочисленными являются семейства Камышовковые и Вьюрковые (по 5 видов), в то же время 7 семейств: Жаворонковые, Иволговые, Скворцовые, Длиннохвостые синицы, Ремезовые, Поползневые и Воробьиные состоят каждое только из одного вида. Население птиц зависит от природных особенностей ландшафта, и в значительной степени, от выборочных рубок леса, вызывающих беспокойство птиц и трансформацию местообитаний. Для сохранения разнообразия авифауны заказника, режим его лесохозяйственной деятельности должен быть строго регламентирован.

Авторы выражают благодарность государственному инспектору КГБУ «Алтайприрода» Владимиру Алексеевичу Шевченко, оказавшему большую помощь в проведении полевых исследований в Мамонтовском заказнике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мамонтовский заказник имени Алексея Федоровича Кочегарова [Электронный ресурс] URL: https://minprirody.alregn.ru/directions/prirodnye_resursy/oopt/zakazniki/mamontovskij_ zakaznik/?ysclid=lvn29uqnk8852728548 (дата обращения: 02.09.2024). Заглавие с экрана.
2. Заказник Мамонтовский / составители: А.И. Шмаков, Т.М. Копытина, И.А. Хрусталева, В.Ю. Петров // Красная книга Алтайского края. Особо охраняемые природные территории. — Барнаул, 2009. — С. 97–101.
3. Важов С.В., Важов В.М., Яськов М.И., Черемисин А.А. К изучению географического распространения популяций некоторых редких видов соколообразных и сов в интразональных лесных массивах юга Западной Сибири // Успехи современного естествознания. 2021. № 2. С. 88–93. DOI: 10.17513/use.37579
4. Важов С.В., Мацюра А.В., Важов В.М. Большой подорлик Aquila clanga в Алтайском крае и Республике Алтай // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 3. С. 63–77. DOI:10.18470/1992–1098–2022 –3–63–77
5. 5.Vazhov S.V., Matsyura A.V., Vazhov V.M. Fauna and population of passerine birds in the lower reaches of the Bolshaya Rechka River (Altai Territory, Bolsherechensky Reserve) // Acta Biologica Sibirica. 2023. Vol. 9. P. 71–84. https://doi.org/10.14258/abs.v9.e06
6. Равкин Ю.С., Ливанов С.Г. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск: Наука, 2008. 205 с.
7. Кузякин А.П. Зоогеография СССР // Ученые записки Московского педагогического университета им. Крупской. — М., 1962. Т. 109. Вып. 1. — С. 3–182.
8. Коблик Е.А., Редькин Я.А., Архипов В.Ю. Список птиц Российской Федерации. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 256 с.
9. Рябицев В.К. Птицы Сибири. М.–Екатеринбург: Изд-во «Кабинетный ученый», 2014. Т. 1. 438 с.
10. Орнитолог Сергей Важов посетил «Касмалинский» и «Мамонтовский» заказники [Электронный ресурс] URL: https://minprirody.alregn.ru/news/oopt_/?/2020/05/15/9965_ornitolog_sergey_vajov_posetil_kasmalinskiy_i_mamontovskiy_zakazniki (дата обращения: 10.12.2024). Заглавие с экрана.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.10

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ LACTOBACILLUS ПРОТИВ КЛИНИЧЕСКИХ ШТАММОВ PSEUDOMONAS AERUGINOSA С МНОЖЕСТВЕННОЙ ЛЕКАРСТВЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

COMPARATIVE STUDY OF THE ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF LACTOBACILLUS AGAINST CLINICAL STRAINS OF PSEUDOMONAS AERUGINOSA WITH MULTIPLE DRUG RESISTANCE

T. Gurcheva
E. Belokurova

Summary. *The goal*. To study the antimicrobial activity of Lactobacillus strains against multidrug-resistant clinical isolates of Pseudomonas aeruginosa.
Materials and methods. 20 clinical strains of P. aeruginosa collected in the INVITRO laboratory (St. Petersburg) were analyzed. To determine the antimicrobial activity, methods of disk diffusion, agar stain, agar plates, as well as assessment of the inhibitory effect of the supernatant and acids were used.
Results. The Lactobacillus acidophilus strain isolated from the feces of a child demonstrated the greatest antimicrobial activity against multiple resistant strains of Pseudomonas aeruginosa, suppressing the growth of pathogens by 95 % after 72 hours of incubation. Its effectiveness was maintained throughout the entire follow-up period, indicating a stable and pronounced inhibitory potential. In contrast, commercially obtained strains of Lactobacillus acidophilus and Lactobacillus reuteri showed only moderate or mild growth inhibition, and in some cases, a complete lack of antimicrobial effect. This highlights the importance of selecting natural isolates for the development of alternative remedies against polyresistant pathogens.
Conclusions. Natural Lactobacillus isolates have potential as biotherapeutic agents against MDR strains of P. aeruginosa. The practical significance of the study is to substantiate the possibility of using natural Lactobacillus strains as alternative means to combat multiple resistant strains of Pseudomonas aeruginosa.

Keywords: Lactobacillus, Pseudomonas aeruginosa, multidrug resistance, antimicrobial activity, supernatant, probiotics.

Гурчева Татьяна Ивановна
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Tatyana.gur4eva@yandex.ru
Белокурова Елена Сергеевна
кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Аннотация. *Цель*. Изучение антимикробной активности штаммов Lactobacillus в отношении клинических изолятов Pseudomonas aeruginosa с множественной лекарственной устойчивостью.
Материалы и методы. Были проанализированы 20 клинических штаммов P. aeruginosa, собранных в лаборатории ИНВИТРО (Санкт-Петербург). Для определения антимикробной активности использовались методы дисковой диффузии, агарового пятна, агаровых чашек, а также оценка ингибирующего действия супернатанта и кислот.
Результаты. Наибольшую антимикробную активность против множественно устойчивых штаммов Pseudomonas aeruginosa продемонстрировал штамм Lactobacillus acidophilus, выделенный из кала ребёнка, подавляя рост патогенов на 95 % через 72 часа инкубации. Его эффективность сохранялась в течение всего периода наблюдения, что указывает на стабильный и выраженный ингибирующий потенциал. Напротив, коммерчески полученные штаммы Lactobacillus acidophilus и Lactobacillus reuteri показали лишь умеренное или слабое угнетение роста, а в отдельных случаях — полное отсутствие антимикробного эффекта. Это подчёркивает важность выбора природных изолятов для разработки альтернативных средств против полирезистентных возбудителей.
Выводы. Природные изоляты Lactobacillus обладают потенциалом как биотерапевтические агенты против MDR-штаммов P. aeruginosa. Практическая значимость исследования заключается в обосновании возможности использования природных штаммов Lactobacillus как альтернативных средств для борьбы с множественно устойчивыми штаммами Pseudomonas aeruginosa.

Ключевые слова: Lactobacillus, Pseudomonas aeruginosa, множественная лекарственная устойчивость, антимикробная активность, супернатант, пробиотики.

Введение

На сегодняшний день представители вида Pseudomonas aeruginosa остаются одними из наиболее опасных возбудителей нозокомиальных инфекций, особенно в условиях стационаров. Их высокая выживаемость, способность образовывать биопленки и выраженная устойчивость к действию большинства антибиотиков делают эти бактерии серьезной угрозой для пациентов с ослабленным иммунитетом [1]. Соглас-

но результатам многоцентрового российского эпидемиологического исследования «МАРАФОН», P. Aeruginosa идентифицируется в почти 17,4 % случаев госпитальных инфекций, что подчеркивает масштабы проблемы. Данные национального ресурса AMRmap также подтверждают, что к 2020 году эта доля увеличилась до 18,6 %, что свидетельствует о сохраняющейся эпидемиологической значимости данного патогена [2].

Особую клиническую настороженность вызывают полирезистентные штаммы P. aeruginosa, особенно при таких тяжелых состояниях, как сепсис, инфекции центральной нервной системы и пневмонии, ассоциированные с искусственной вентиляцией легких [3]. Например, при ВАП-инфекциях доля P. Aeruginosa составляет до 45 %, а при сепсисе — около 20 %. Не менее тревожна ситуация с внутрибольничными инфекциями мочевыводящих путей, интраабдоминальными и ожоговыми ранами, где данный возбудитель также занимает лидирующие позиции [4–8].

С учетом возрастающей устойчивости P. aeruginosa к антибиотикам традиционных классов, исследование антагонистических свойств пробиотических микроорганизмов, в частности бактерий рода Lactobacillus, приобретает особую актуальность. Лактобациллы способны продуцировать вещества с антимикробной активностью, включая органические кислоты, перекись водорода и бактерицины, что делает их потенциальной альтернативой или дополнением к классическим схемам антимикробной терапии. Сравнительный анализ активности различных видов Lactobacillus против клинических изолятов P. aeruginosa с множественной лекарственной устойчивостью может открыть новые направления в профилактике и лечении инфекций, вызываемых этим сложным патогеном [9].

В последние годы в клинической практике все чаще фиксируются штаммы Pseudomonas aeruginosa, обладающие множественной или экстремальной лекарственной устойчивостью, что представляет серьезную угрозу для эффективности стандартной антимикробной терапии [10]. Причинами такой устойчивости служат как накопленные мутационные изменения в хромосомных структурах бактерий, так и активное распространение мобильных генетических элементов, несущих гены металло-β-лактамаз (МБЛ) и β-лактамаз расширенного спектра (БЛРС). Эти гены обеспечивают разрушение широкого спектра антибиотиков, включая карбапенемы, которые ранее считались препаратами резерва.

Анализ различных источников показывает тревожную картину: около 13,8 % штаммов P. aeruginosa, выделенных из мокроты, уже демонстрируют устойчивость к карбапенемам. Среди внутрибольничных изолятов этот показатель возрастает до 50 %, а среди штаммов, выделенных из биологических жидкостей высокой клинической значимости (кровь, ликвор), он достигает 70 %. Подобные данные подчеркивают острую необходимость непрерывного молекулярного мониторинга механизмов лекарственной устойчивости, чтобы своевременно адаптировать терапевтические стратегии и предотвращать распространение трудно поддающихся лечению инфекций [11].

Целью данного исследования является комплексная оценка устойчивости клинических штаммов P. aeruginosa к современным антимикробным препаратам, с акцентом на выявление и интерпретацию конкретных генетических механизмов, обуславливающих множественную резистентность. Это позволит наметить более точные подходы к терапии и создать научную базу для возможного использования пробиотических стратегий в качестве поддерживающего метода контроля над патогенами.

Материалы и методы

Данное исследование было проведено на базе информации, предоставленной из лабораторного центра ИНВИТРО г. Санкт-Петербург. В ходе исследования антимикробной активности лактобактерий против множественно устойчивых штаммов Pseudomonas aeruginosa было собрано 20 клинических изолятов. Идентификация проводилась классическими методами. Для оценки биологических свойств использовались штаммы Lactobacillus acidophilus и Lactobacillus reuteri, выделенные из проб детского кала и коммерческих продуктов. Все культуры выращивали в MRS-бульоне при 37°C в течение суток.

Антибиотикочувствительность P. aeruginosa проверялась методом Кирби-Бауэра с 12 препаратами, включая ампициллин, имипенем, цефтриаксон и гентамицин. Были отобраны наиболее устойчивые штаммы для проведения теста смешанных культур с лактобациллами.

Антимикробная активность исследовалась методом пятен на агаре и с использованием агаровых чашек. Надосадочные жидкости, полученные после центрифугирования культур Lactobacillus, добавляли к суспензиям P. aeruginosa, после чего отслеживалась динамика роста по оптической плотности и количеству КОЕ.

Дополнительно изучалось влияние молочной кислоты и перекиси водорода на рост P. aeruginosa, показавшее угнетающий эффект. Полученные результаты подтверждают потенциал Lactobacillus как источника альтернативных антимикробных агентов против резистентных штаммов.

Результаты

Результаты анализа антимикробной устойчивости 20 клинических изолятов Pseudomonas aeruginosa показали выраженную резистентность ко многим антибио-

тикам. Особенно высокая устойчивость наблюдалась к цефрадину и ампициллину, а также сниженная чувствительность к другим сильнодействующим препаратам представлена таблица 1.

Таблица 1.
Антибиотикограмма Pseudomonas aeruginosa (n=20)

Антибиотики	Синегнойная палочка (Pseudomonas aeruginosa)	
	Резистентность n (%)	Восприимчивый n (%)
Гентамицин (10 мкг)	6 (30 %)	14 (70 %)
Ципрофлоксацин (5 мкг)	5 (25 %)	15 (75 %)
Амилкацин (30 мкг)	3 (15 %)	17 (85 %)
Тобрамицин (10 мкг)	4 (20 %)	16 (80 %)
Цефтазидим (30 µг)	5 (25 %)	15 (75 %)
Цефотаксим (30 мкг)	8 (40 %)	12 (60 %)
Цефрадин (30 мкг)	17 (85 %)	3 (15 %)
Левомицетин (30 мкг)	7 (35 %)	13 (65 %)
Пиперациллин (100 мкг)	6 (30 %)	14 (70 %)
Имипенем (10 мкг)	2 (10 %)	18 (90 %)
Цефтриаксон (30 мкг)	9 (45 %)	11 (55 %)
Ампициллин (30 мкг)	18 (90 %)	2 (10 %)

В результате скрининга 80 образцов методом агарового пятна и диффузии было выделено три наиболее активных штаммов Lactobacillus. Видовая идентификация этих изолятов проведена с использованием традиционных микробиологических методик (табл. 2).

Антибактериальная активность надосадочной жидкости отобранных Lactobacillus, включая природные и коммерческие штаммы L. acidophilus и L. reuteri, была протестирована против десяти высокорезистентных штаммов P. aeruginosa. Особенно сильное ингибирующее действие показал Lactobacillus acidophilus, выделенный из детского кала, сохраняв активность на протяжении 72 часов. В то время как изоляты из коммерческих продуктов демонстрировали лишь умеренную или слабую активность, некоторые вовсе не обладали ингибирующим эффектом.

Следует отметить, дополнительно проведён анализ кинетики подавления роста патогена. Штаммы L. casei, L. acidophilus и L. reuteri показали наибольшую эффективность по снижению числа жизнеспособных клеток P. aeruginosa. Для дальнейшего моделирования кривой замедленного действия был выбран один из чувствительных штаммов бактерии, чтобы глубже понять механизмы противомикробного эффекта лактобацилл.

Таблица 2.
Антибактериальная активность различных штаммов Lactobacillus и контрольных растворов против Pseudomonas aeruginosa

Бактерии	Процент ингибирующей активности	
	48 (ч)	72 (ч)
Lactobacillus plantarium	50	85
Lactobacillus acidophilus	55	95
Lactobacillus casei	20	85
Lactobacillus fermentum	40	50
Lactobacillus reuteri	30	75
Lactobacillus gasseri	35	60
Lactobacillus acidophilus (коммерческий)	0	0
H_2O 3%	0	100
Молочная кислота 3 %	0	100

Обсуждение

Результаты проведённого исследования подтвердили высокую степень множественной лекарственной устойчивости клинических штаммов Pseudomonas aeruginosa, особенно к таким препаратам, как ампициллин (90 %) и цефрадин (85 %). Эти данные совпадают с результатами, полученными в рамках эпидемиологических исследований «МАРАФОН» и работ Кузьменкова А.Ю. и соавт., где также отмечен высокий уровень резистентности к β-лактамным антибиотикам [3].

Сравнительно низкий уровень резистентности был выявлен к имипенему (10 %) и амикацину (15 %), что согласуется с результатами исследований Santoro A. и Zhang X., подтверждающих эффективность карбапенемов против ряда штаммов P. aeruginosa, несмотря на рост резистентности [4, 6].

Особое внимание заслуживают данные по антагонистическому действию штаммов Lactobacillus на MDR-штаммы P. aeruginosa. В течение 72 часов Lactobacillus acidophilus, выделенный из детского кала, демонстрировал наибольшую ингибирующую активность (до 95 %), тогда как коммерческие штаммы не показали значимого эффекта. Это подтверждает важность подбора штаммов-пробиотиков из природных источников, что ранее отмечалось в исследованиях Aguilar-Rodea P. и Greenwood B [10,11].

Кроме того, молочная кислота и перекись водорода, применённые в контрольных условиях, полностью подавили рост P. aeruginosa, что подчёркивает значение метаболитов Lactobacillus в антимикробной активности.

Таким образом, наши результаты подтверждают, что природные штаммы Lactobacillus обладают значительным потенциалом в борьбе с полирезистентными патогенами и могут рассматриваться в качестве перспективной основы для создания альтернативных антимикробных агентов.

Полученные результаты предполагают возможность включения определённых штаммов Lactobacillus в состав комбинированных терапевтических препаратов или профилактических средств, особенно в отделениях с высоким риском внутрибольничных инфекций. Необходимы дальнейшие клинические и молекулярные исследования механизмов действия лактобацилл и их синергизма с антибиотиками.

Заключение

Проведённое исследование продемонстрировало значительную антимикробную активность природных штаммов Lactobacillus против резистентных форм Pseudomonas aeruginosa. Наиболее эффективным оказался штамм Lactobacillus acidophilus, выделенный из детского кала. Полученные данные указывают на целесообразность использования лактобацилл в профилактике и лечении инфекций, вызванных MDR-патогенами. Дальнейшие исследования помогут разработать пробиотические стратегии с учётом специфики резистентных возбудителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шек Е.А., Сухорукова М.В., Эйдельштейн М.В. и др. Антибиотикорезистентность, продукция карбапенемаз и генотипы нозокомиальных штаммов Pseudomonas aeruginosa в стационарах России: результаты многоцентрового эпидемиологического исследования «МАРАФОН 2015–2016» / Е.А. Шек, М.В. Сухорукова, М.В. Эйдельштейн и др. // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. — 2019. — №21(2). — С.160–170.
2. Склеенова Е.Ю., Азизов И.С., Шек Е.А. и др. Pseudomonas aeruginosa в РФ: история одного из наиболее успешных нозокомиальных патогенов / Е.Ю. Склеенова, И.С. Азизов, Е.А. Шек и др. // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. — 2018. — №.20(3). — С.164–171.
3. Кузьменков А.Ю., Виноградова А.Г., Трушин И.В. и др. AMRmap — система мониторинга антибиотикорезистентности в России / А.Ю. Кузьменков, А.Г. Виноградова, И.В. Трушин и др. // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. — 2021. — №. 23(2). — С. 198–204.
4. Santoro A., Franceschini E., Meschiari M. et al. Epidemiology and risk factors associated with mortality in consecutive patients with bacterial bloodstream infection: impact of MDR and XDR bacteria / A. Santoro, E. Franceschini, M. Meschiari et al. // Open Forum Infect. Dis. — 2020. — №. 7(11). — P. ofaa461. — DOI: 10.1093/ofid/ofaa461.
5. Садеева З.З., Новикова И.Е., Алябьева Н.М. Характеристика Pseudomonas aeruginosa, выделенных из положительных проб гемокультур и ликвора у детей / З.З. Садеева, И.Е. Новикова, Н.М. Алябьева // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. — 2022. — №. 99. — С. 309–321.
6. Zhang X., Zhu Y., Gao Y. et al. Evaluation and analysis of multidrug resistance- and hypervirulence-associated genes in carbapenem-resistant Pseudomonas aeruginosa strains among children in an area of China for five consecutive years / X. Zhang, Y. Zhu, Y. Gao et al. // Front Microbiol. — 2023. — №. 14. — P.1280012. — DOI: 10.3389/fmicb.2023.1280012.
7. Kocsis B., Gulyás D., Szabó D. Diversity and distribution of resistance markers in Pseudomonas aeruginosa international high-risk clones / B. Kocsis, D. Gulyás, D. Szabó // Microorganisms. — 2021. — №. 9(2). — P. 359. — DOI:10.3390/microorganisms9020359.
8. Bocharova Y., Savinova T., Lazareva A. et al. Genotypes, carbapenemase carriage, integron diversity and oprD alterations among carbapenem-resistant Pseudomonas aeruginosa from Russia / Y. Bocharova, T. Savinova, A. Lazareva et al. // Int J Antimicrob Agents. — 2020. — №. 55(4). — P.105899. — DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2020.105899.
9. Danel F., Hall L.M., Gur D., Livermore D.M. OXA-14, another extended-spectrum variant of OXA-10 (PSE-2) beta-lactamase from Pseudomonas aeruginosa / F. Danel, L.M. Hall, D. Gur, D.M. Livermore // Antimicrob Agents Chemother. — 1995. — №.39. — P. 1881–1884. — DOI: 10.1128/AAC.39.8.1881.
10. Greenwood B., Meunier D., Hopkins K.L. et al. Pseudomonas aeruginosa sequence type 357 with VEB extended-spectrum β-lactamases in the UK: relatedness and resistance / B. Greenwood, D. Meunier, K.L. Hopkins et al. // Int J Antimicrob Agents. — 2018. — №.52(2). — P. 301–302. — DOI: 10.1016/j. ijantimicag.2018.03.013.
11. Aguilar-Rodea P., Zúñiga G., Cerritos R. et al. Nucleotide substitutions in the mexR, nalC and nalD regulator genes of the MexAB-OprM efflux pump are maintained in Pseudomonas aeruginosa genetic lineages / P. Aguilar-Rodea, G. Zúñiga, R. Cerritos et al. // PLoS One. — 2022. — №.17(5). — P. e0266742. — DOI: 10.1371/journal.pone.0266742.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.20

ОЦЕНКА МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ОТХОДОВ НА ОБЪЕКТАХ НАКОПЛЕННОГО ВРЕДА БАШКОРТОСТАНА

ASSESSMENT OF THE MORPHOLOGICAL COMPOSITION OF WASTE AT THE SITES OF ACCUMULATED HARM IN BASHKORTOSTAN

N. Lyalkov
I. Terpigoreva

Summary. The study is devoted to a comprehensive assessment of the morphological composition of waste at sites of accumulated environmental damage in the Republic of Bashkortostan. The paper analyzes the results of field studies conducted in 2021-2023 at 17 of the largest sites of accumulated damage in the region, including industrial landfills, sludge ponds and unauthorized dumps. A modified component analysis technique based on the integration of layer-by-layer sampling methods, gravimetric analysis and spectroscopy was tested. The results obtained made it possible to identify significant heterogeneity in the morphological composition of waste both between different categories of the NEVOS and within individual sites. It was found that sites with a high content of potentially hazardous components (on average 37.8 %) prevail in the region, which creates significant risks for the environment. For the first time, a regional morphological atlas of waste has been compiled for Bashkortostan, which makes it possible to optimize reclamation procedures depending on the specifics of a particular site.

Keywords: objects of accumulated harm, morphological composition of waste, environmental monitoring, reclamation, regional environmental safety.

Ляльков Никита Сергеевич
ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
nikita.l.n.seg@gmail.com
Терпигорева Инна Валерьевна
канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
terpigoreva@mail.ru

Аннотация. Исследование посвящено комплексной оценке морфологического состава отходов на объектах накопленного экологического вреда Республики Башкортостан. В работе проанализированы результаты полевых исследований, проведенных в 2021–2023 гг. на 17 крупнейших объектах накопленного вреда региона, включая территории промышленных полигонов, шламонакопителей и несанкционированных свалок. Апробирована модифицированная методика компонентного анализа, основанная на интеграции методов послойного отбора проб, гравиметрического анализа и спектроскопии. Полученные результаты позволили выявить существенную гетерогенность морфологического состава отходов как между различными категориями ОНВОС, так и в пределах отдельных объектов. Установлено, что на территории региона преобладают объекты с высоким содержанием потенциально опасных компонентов (в среднем 37,8 %), что создает значительные риски для окружающей среды. Впервые для Башкортостана составлен региональный морфологический атлас отходов, позволяющий оптимизировать процедуры рекультивации в зависимости от специфики конкретного объекта.

Ключевые слова: объекты накопленного вреда, морфологический состав отходов, экологический мониторинг, рекультивация, региональная экологическая безопасность.

Введение

Проблема объектов накопленного экологического вреда (ОНВОС) приобретает особое значение в контексте перехода к устойчивому развитию и реализации национальных экологических программ. На территории Российской Федерации зарегистрировано более 340 крупных ОНВОС, требующих незамедлительных мер по нейтрализации и рекультивации [1]. Традиционные подходы к анализу, основанные на обобщенных классификациях, не отражают реальную гетерогенность их состава, что значительно снижает эффективность реабилитационных мероприятий. Как показывают современные исследования, точное определение компонентного состава является ключевым фактором, определяющим выбор оптимальных технологий обезвреживания и утилизации [2]. Научная литература по данной проблематике демонстрирует выраженную фрагментарность и отсутствие систематических региональных исследований. Существующие методики морфологического анализа преимущественно ориентированы на свежеобразованные отходы и требуют существенной адаптации для исследования объектов длительного хранения. В ведущих научных журналах прослеживается тенденция к интеграции классических методов анализа с инновационными инструментальными подходами, включая применение спектроскопии и машинного обучения для классификации компонентов отходов [3]. В научной литературе сохраняются существенные пробелы. Недостаточно изучены процессы трансформации морфологического состава в условиях длительного хранения. Механизмы и закономерности этих процессов остаются малоизученными [4]. Критическим аспектом является также отсутствие стандартизированных подходов к сопряжению данных морфологического анализа с выбором технологий рекультивации. Эффективность

восстановительных мероприятий на ОНВОС напрямую зависит от точности определения компонентного состава отходов и прогнозирования его динамики [5]. Однако конкретные методологические решения этой проблемы в научной литературе представлены недостаточно. Актуальность настоящего исследования определяется остротой экологической ситуации в Республике Башкортостан, где сконцентрировано значительное количество ОНВОС различного происхождения. По данным государственного реестра, на территории региона расположено 27 крупных объектов, занимающих площадь более 2 тыс. гектаров и содержащих ориентировочно 15,4 млн тонн отходов различных классов опасности [6].

Целью исследования является разработка и апробация комплексной методики оценки морфологического состава отходов на объектах накопленного вреда Республики Башкортостан для оптимизации процессов их рекультивации. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи: проведение инвентаризации и типологизации ОНВОС региона; разработка и апробация модифицированной методики морфологического анализа; выявление региональных закономерностей распределения компонентов отходов; создание прогностической модели трансформации морфологического состава; разработка рекомендаций по оптимизации рекультивационных мероприятий.

Материалы и методы

Исследование проводилось в 2021–2023 гг. на территории Республики Башкортостан и охватило 17 крупнейших объектов накопленного вреда, отобранных на основе многоступенчатой стратифицированной выборки с учетом типа объекта, периода формирования, географического расположения и степени потенциальной опасности. В выборку вошли 6 промышленных полигонов, 5 шламонакопителей, 4 несанкционированные свалки и 2 территории ликвидированных химических производств. Методологический базис исследования сформирован на основе комплексного подхода, интегрирующего полевые и лабораторные методы. Для оценки морфологического состава отходов применялась модифицированная методика Европейского агентства по окружающей среде (European Environment Agency), адаптированная к условиям объектов длительного хранения отходов [7]. Методика включала послойный отбор проб с шагом 0,5–1 м с последующим гравиметрическим анализом 27 фракций отходов, сгруппированных в 8 основных категорий. На каждом объекте закладывалось от 3 до 7 контрольных площадок размером 2×2 м, на которых проводился послойный отбор проб с использованием ручного бура и механического пробоотборника SEBA Hydrometrie KLL-S. Отбор проб осуществлялся в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 и ГОСТ 17.4.4.02-2017. Всего за период исследования было отобрано и проанализировано 412 проб. Лабораторный анализ проб включал определение влажности, плотности, зольности, содержания органических веществ, а также качественного и количественного состава компонентов. Морфологический состав определялся методом ручной сортировки с последующим взвешиванием фракций. Для идентификации трудноразличимых компонентов применялся метод инфракрасной спектроскопии с использованием спектрометра Bruker ALPHA II. Химический состав опасных компонентов анализировался методами атомно-абсорбционной спектрометрии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Результаты исследования

Комплексный анализ морфологического состава отходов на 17 объектах накопленного вреда Республики Башкортостан выявил значительную вариабельность компонентного состава как между различными типами объектов, так и в пределах отдельных территорий. Статистическая обработка результатов 412 проб позволила систематизировать данные о преобладающих фракциях и их количественном содержании в зависимости от типа объекта, периода его формирования и географического расположения. На первом уровне анализа выявлены существенные различия в морфологическом составе отходов между основными категориями ОНВОС. Наибольшую гетерогенность состава демонстрируют несанкционированные свалки, где коэффициент вариации содержания основных компонентов достигает 68,7 %. Шламонакопители характеризуются относительной гомогенностью состава с преобладанием минеральных компонентов (в среднем 73,5±5,2 % от общей массы). Промышленные полигоны занимают промежуточное положение с коэффициентом вариации 41,3 % и значительным содержанием как минеральных, так и органических компонентов. Детальный анализ компонентного состава позволил выделить восемь основных фракций отходов, распределение которых статистически значимо различается в зависимости от типа объекта ($p<0,01$ по критерию Краскела-Уоллиса). В таблице 1 представлены средние значения содержания основных фракций для различных категорий ОНВОС.

Многомерный статистический анализ позволил выявить три основных фактора, определяющих морфологический состав отходов на ОНВОС Башкортостана. Первый фактор (объясняет 42,7 % дисперсии) связан с промышленной специализацией территории и отражает влияние отраслевой структуры экономики на формирование отходов. Второй фактор (27,3 % дисперсии) коррелирует с периодом формирования объекта и характеризует временные изменения в технологиях производства и составе потребительских товаров. Третий фактор (15,8 % дисперсии) ассоциирован с географическим положением и отражает влияние природно-клима-

Таблица 1.
Морфологический состав отходов на различных категориях ОНВОС Республики Башкортостан (% от массы сухого вещества)

Фракция отходов	Промышленные полигоны	Шламонакопители	Несанкционированные свалки	Территории ликвидированных химпроизводств
Минеральные компоненты	52,3±6,7	73,5±5,2	41,8±7,9	48,6±9,1
Органические компоненты	15,6±4,2	3,7±1,8	22,4±6,1	11,2±3,8
Металлы	8,2±2,3	6,9±1,7	5,7±2,9	12,8±4,2
Полимерные материалы	11,4±3,1	4,2±1,5	19,5±5,7	9,3±2,7
Текстиль	2,3±0,9	0,8±0,4	4,6±1,8	1,7±0,8
Стекло	3,7±1,2	2,1±0,9	3,9±1,4	4,5±1,6
Древесина	2,8±1,1	1,3±0,7	1,6±0,8	2,2±1,0
Опасные компоненты	3,7±1,4	7,5±2,3	0,5±0,3	9,7±3,5

тических условий на процессы трансформации отходов. На основе полученных данных разработана типология ОНВОС Башкортостана по особенностям морфологического состава отходов, включающая четыре основных типа: минерально-промышленный (преобладание шлаков, золы, строительных отходов), органо-промышленный (значительное содержание нефтешламов, отходов деревообработки), смешанный коммунально-промышленный (гетерогенный состав с высокой долей полимеров) и высокотоксичный промышленный (повышенное содержание соединений тяжелых металлов, ПХБ и других опасных компонентов). Детальное исследование фракции опасных компонентов показало, что их содержание на объектах накопленного вреда Башкортостана в среднем составляет 5,4 % от общей массы отходов, что превышает аналогичный показатель по другим регионам России (3,2 % по данным [8]). Максимальные концентрации опасных компонентов зафиксированы на территориях ликвидированных химических производств (9,7±3,5 %) и в шламонакопителях (7,5±2,3 %). Спектральный анализ опасных компонентов выявил преобладание соединений тяжелых металлов (Pb, Cd, Cr, Ni), нефтепродуктов, полихлорированных бифенилов и фенолов. Моделирование показало, что для большинства ОНВОС Башкортостана характерна тенденция к увеличению относительного содержания неразлагаемых полимерных материалов (на 0,5–1,2 % ежегодно) и концентрированию тяжелых металлов в нижних горизонтах (скорость миграции 5–12 см/год в зависимости от гидрогеологических условий). Для практического применения результатов исследования разработан региональный морфологический атлас отходов, включающий детальные характеристики 27 фракций, их потенциальную опасность для окружающей среды и рекомендации по выбору оптимальных технологий обезвреживания и утилизации. Атлас дополнен геоинформационной базой данных, позволяющей визуализировать пространственное распределение компонентов отходов на исследованных объектах и прогнозировать их трансформацию.

Заключение

Проведенное исследование позволило установить, что морфологический состав отходов на объектах накопленного вреда Республики Башкортостан характеризуется значительной вариабельностью, определяемой типом объекта, периодом его формирования и промышленной специализацией территории. Выявлено преобладание минеральных компонентов в структуре отходов шламонакопителей (73,5 %), полимерных материалов на несанкционированных свалках (19,5 %) и опасных компонентов на территориях ликвидированных химических производств (9,7 %). Средний показатель содержания опасных компонентов на ОНВОС региона (5,4 %) превышает аналогичный показатель для других регионов России на 68,7 %. Концентрация тяжелых металлов в опасной фракции отходов многократно превышает установленные нормативы: по свинцу в 3,0–13,3 раза, по кадмию в 4,6–69,2 раза, по хрому в 0,6–5,7 раза, по никелю в 1,0–6,4 раза, что создает высокие экологические риски. Выявлены закономерности пространственной дифференциации морфологического состава в пределах отдельных объектов, включая вертикальную зональность на полигонах с длительным периодом эксплуатации и горизонтальную зональность в шламонакопителях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамов М.И., Наставкин А.В., Труфанов А.В. Металлы в углевмещающих и углепородных отвалах Восточного Донбасса // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 2015. — № 2. — С. 135–147.
2. Тимофеева С.С., Ульрих Д.В., Тимофеев С.С. Оценка техногенного воздействия шламонакопителей на компоненты природной среды // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2016. — Т. 20. — № 9. — С. 143–151.
3. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Касимов Н.С. Оценка экологической опасности тяжелых металлов в почвах промышленных зон // Почвоведение. — 2017. — № 6. — С. 748–758.

4. Савватеева О.А., Каплина С.П., Ленько О.А. Оценка морфологического состава твердых коммунальных отходов и их сезонной динамики // Успехи современного естествознания. — 2018. — № 2. — С. 91–96.
5. Багрянцев Г.И., Гаврилов А.С., Зубацкая М.Л. Проблемы рекультивации объектов накопленного экологического вреда // Экология и промышленность России. — 2018. — Т. 22. — № 11. — С. 38–43.
6. Галинуров И.Р., Сафаров А.М., Шайдулина Г.Ф. Экологическая оценка объектов размещения отходов на территории Республики Башкортостан // Экология урбанизированных территорий. — 2019. — № 1. — С. 68–74.
7. Christensen T.H., Simion F., Tonini D., Møller J. Global warming factors modelled for 40 generic municipal waste management scenarios // Waste Management & Research. — 2009. — Vol. 27. — № 9. — P. 871–884.
8. Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M. Evaluation of the recovery of Zinc and Lead from metallurgical slag using the «Waelz process» // Journal of Cleaner Production. — 2016. — Vol. 113. — P. 410–418.
9. Malinauskaite J., Jouhara H., Czajczyńska D., Stanchev P. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe // Energy. — 2017. — Vol. 141. — P. 2013–2044.
10. Laurent A., Bakas I., Clavreul J., Bernstad A. Review of LCA studies of solid waste management systems–Part I: Lessons learned and perspectives // Waste management. — 2014. — Vol. 34. — № 3. — P. 573–588.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.23

РАСТЕНИЯ КРАСНОЙ КНИГИ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЬ В ПРЕДЕЛАХ ООПТ «ПРИБРЕЖНЫЙ АКВАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС У МЫСА САРЫЧ» И «ПРИБРЕЖНЫЙ АКВАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС У МЫСА ЛУКУЛЛ»

PLANTS OF THE RED BOOK OF THE CITY OF SEVASTOPOL WITHIN THE PROTECTED AREAS «COASTAL AQUATIC COMPLEX NEAR CAPE SARYCH» AND «COASTAL AQUATIC COMPLEX NEAR CAPE LUKULL»

E. Mlynar
V. Dmitrovich

Summary. Preservation of unique flora and fauna is one of the priority tasks. In light of this, ongoing monitoring of existing ecosystems, including protected areas, is carried out. In 2020, a comprehensive survey of the protected areas «Coastal aquatic complex near Cape Sarych» and «Coastal aquatic complex near Cape Lukull» was conducted, during which the species composition of the flora and fauna listed in the Red Book of the city of Sevastopol was assessed. The presence of rare species listed in the Red Book on the territory demonstrated the high significance of natural monuments of regional importance.

Keywords: Ecosystem, vegetation, biotope, species composition, protected areas, anthropogenic impact.

Млынар Евгений Викторович
Кандидат биологических наук,
ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» (Хабаровск)
mlynar@bk.ru
Дмитрович Владимир Владимирович
член-корр. ДВ НАН (Хабаровск)

Аннотация. Сохранение уникальных объектов растительного и животного мира одна из приоритетных задач. В свете этого проводится постоянный мониторинг существующих экосистем, в том числе ООПТ. В 2020 году было проведено комплексное обследование ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» и «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Лукулл», в ходе которого был оценен видовой состав флоры и фауны, занесенной в Красную книгу города Севастополь. Наличие на территории редких видов, занесенных в Красную книгу, показали высокую значимость памятников природы регионального значения.

Ключевые слова: экосистема, растительность, биотоп, видовой состав, ООПТ, антропогенное воздействие.

Создание и организация деятельности особо охраняемых природных территорий (ООПТ) является актуальным направлением природоохранной политики как Российской Федерации, а природоохранный статус территорий и акваторий позволяет более эффективно решать задачи сохранения объектов животного и растительного мира, а также грибов, занесенных в Красную книгу Российской Федерации и региональные красные книги отдельных субъектов РФ.

Цели исследований — осуществление оценки состояния объектов животного и растительного мира, и грибов, занесенных в Красную книгу города Севастополя, на особо охраняемых природных территориях: гидрологический памятник природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч», гидрологический памятник природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Лукулл. Исследования выполнены с применением стандартных полевых методов учета, а также анализа научной литературы, официальных источниов и опросных сведений.

В представленной работе приведены сведения о находках видов, занесенных в Красную книгу города Севастополя. Представлена оценка современного состояния компонентов природной среды — объектов животного и растительного мира, и грибов — на исследуемых ООПТ, а также прилегающих участках территорий

Материал и методика

Сбор материала осуществлялся путем обработки и анализа архивных и литературных источников и проведения полевого обследования в период с 12 по 21 июля 2020 года, а также камеральной обработки собранных полевых материалов.

Полевые исследования проводились традиционным маршрутно-рекогносцировочным методом [1].

Описание растительности вели по ярусам: древесный, подлесок, состоящий из кустарников и травяной покров. Видовые названия растений приведены по сводкам и определителям [2, 3, 4]. Степень распространения растений оценивали визуально. Для описания почвенного покрова использовали открытые участки грунта.

Результаты и обсуждение

Ниже представлен список выявленных видов растений, занесенных в Красную книгу города Севастополь (ККС) с краткой характеристикой мест произрастания.

Можжевельник высокий *Juniperus excelsa* M.Bieb.

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. Внесен в КК РФ. Категория 2. Сокращающийся в численности [6]. В пределах обследованных территорий ООПТ встречался преимущественно в верхней части берегового склона на западе гидрологического памятника природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч». Кроме того, отмечен на прилегающей территории — в районе остановки «Мыс Сарыч» с северной стороны автотрассы, а также на территории горного склона между автотрассой и границей памятника природы. Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Описание растительности: можжевелово-дубовые редколесья из можжевельника высокого, можжевельника дельтовидного, дуба пушистого, дуба скального, изредка с примесью фисташки туполистной. Состояние ценопопуляции зависит от испытываемой рекреационной нагрузки, антропогенная трансформация биотопов в основном средняя, местами высокая.

По пути от с. Андреевка к памятнику природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Лукулл»отмечено несколько растений искусственной посадки вблизи искусственных посадок сосны пицундской.

Количество выявленных растений на маршрутах в районе ООПТ «Мыс Сарыч» — 39 шт., в районе ООПТ «Мыс Лукулл» — 6 шт.

Можжевельник дельтовидный («м. красноплодный», м. колючий) *Juniperus deltoides* R.P. Adams [*J. oxycedrus* auct. non L.]

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5].

В пределах обследованных территорий ООПТ встречался преимущественно в верхней части берегового склона на западе гидрологического памятника природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч». Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Описание растительности: можжевелово-дубовые редколесья из можжевельника высокого, можжевельника дельтовидного, дуба пушистого, дуба скального, изредка с примесью фисташки туполистной. Состояние ценопопуляции зависит от испытываемой рекреационной нагрузки, антропогенная трансформация биотопов в основном средняя, местами высокая.

Количество выявленных растений на маршрутах в районе ООПТ «Мыс Сарыч» — 8 шт.

Сосна брутийская (с. Станкевича, с. пицундская) *Pinus brutia* Ten. var. *pityusa* (Steven) Silba [*P. stankewiczii* (Sukacz.) Fomin, *P. pityusa* Steven]

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. Внесен в КК РФ. Категория 2. Сокращающийся в численности [6]. В пределах обследованных территорий ООПТ вид встречен на территории горного склона между автотрассой и границей памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч». Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Описание растительности: можжевелово-дубовые редколесья из можжевельника высокого, можжевельника дельтовидного, дуба пушистого, дуба скального, изредка с примесью фисташки туполистной. Состояние ценопопуляции зависит от испытываемой рекреационной нагрузки, антропогенная трансформация биотопов в основном средняя, местами высокая.

По пути от с. Андреевка к памятнику природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Лукулл» отмечены искусственные насаждения сосны пицундской, не менее 50 деревьев.

Фисташка туполистная*Pistacia mutica* Fisch. et C.A. Mey

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. Внесен в КК РФ. Категория 3. Редкий [6]. В пределах обследованных территорий ООПТ фисташка туполистная встречалась преимущественно в верхней части берегового склона на западе гидрологического памятника природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч». Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Описание растительности: можжевелово-дубовые редколесья из можжевельника высокого, можжевельника дельтовидного, дуба пушистого, дуба скального, изредка с примесью фисташки туполистной. Состояние ценопопуляции зависит от испытываемой рекреационной нагрузки, антропогенная трансформация биотопов в основном средняя. Количество выявленных растений на маршрутах в районе ООПТ «Мыс Сарыч» — 10 шт.

Земляничник мелкоплодный *Arbutus andrachne* L.

Категория статуса в ККС: Категория 3. Редкий. [5]. В пределах обследованных территорий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» два экземпляра земляничника мелкоплодного были отмечены на горном склоне между автотрассой и границей памятника природы. Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Описание растительности: можжевелово-дубовые редколесья из можжевельника высокого, можжевельника дельтовидного, дуба пушистого.

Иглица колючая (и. понтийская) *Ruscus aculeatus* L. [*R. ponticus* Woronow ex Grossh.]

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. В пределах обследованных территорий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» растения встречались на горном склоне между автотрассой и границей памятника природы. Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Описание растительности: можжевелово-дубовые редколесья из можжевельника высокого, можжевельника дельтовидного, дуба пушистого. ***Схенус черноватый*** *Schoenus nigricans* L.

Категория статуса в ККС: Категория 3. Редкий [5]. В пределах обследованных территорий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» схенус черноватый встречен единожды.

Катран приморский (к. морской, к. черноморский, к. понтийский) *Crambe maritima* L. [*C. pontica* Steven ex Rupr.]

Категория статуса в ККС: Категория 3. Редкий. [5]. На территории гидрологического памятника природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Лукулл» обнаружен на глинистом участке побережья в самой северной точке произрастания наземных растений. Субстраты: глинистые галечниково-щебнистые. Описание растительности: вьюнок полевой, лебеда Оше, полынь крымская. Испытываемая рекреационная нагрузка в месте произрастания и антропогенная трансформация биотопов незначительные.

Критмум морской *Crithmum maritimum* L.

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. Внесен в КК РФ. Категория 3. Редкий [6]. В пределах обследованных территорий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» критмум морской встречен один раз.

Ковыль волосатик, тырса *Stipa capillata* L.

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. В пределах обследованных территорий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» ковыль волосатик встречен внизу берегового склона. На территории гидрологического памятника природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Лукулл» обнаружен на южном степном участке охранной зоны памятника природы вблизи с. Андреевка. Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Петрофитностепные сообщества на щебнистых известняковых склонах со скелетными почвами. Ковыльно-типчаково-крымскополынные степи на тяжелых морских глинах. Описание растительности: вьюнок полевой, ковыль волосатик, овес Людовика, пырей узловатый. Испытываемая рекреационная нагрузка в месте произрастания и антропогенная трансформация биотопов незначительные.

Ковыль камнелюбивый *Stipa eriocaulis* Borb. subsp. *lithophila* (P. Smirn.) Tzvelev [*S. lithophila* P. Smirn.]

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. В пределах обследованных территорий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» ковыль камнелюбивый встречен внизу берегового склона, преимущественно на каменистых участках. Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Редкие петрофитностепные сообщества на щебнистых известняковых склонах со скелетными почвами. Испытываемая рекреационная нагрузка в месте произрастания и антропогенная трансформация природных биотопов незначительные. ***Ковыль Лессинга (к. Брунера)*** *Stipa lessingiana* Trin. et Rupr. subsp. *lessingiana* [incl. *S. lessingiana* subsp. *brauneri* Pacz.]

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности[5]. В пределах обследованных территорий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» ковыль Лессинга встречен на горном склоне между автотрассой и границей ООПТ «Мыс Сарыч», а также вверху берегового склона. На территории гидрологического памятника природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Лукулл» обнаружен на южном степном участке охранной зоны памятника природы вблизи с. Андреевка. Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Петрофитностепные сообщества на щебнистых известняковых склонах со скелетными почвами. Ковыльно-типчаково-крымскополынные степи на тяжелых морских глинах. Испытываемая рекреационная нагрузка в месте произрастания и антропогенная трансформация биотопов незначительные.

Асфоделина желтая *Asphodeline lutea* (L.) Rchb.

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. В пределах обследованных территорий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» асфоделина желтая встречена в районе осте-

пененного участка горного склона между автотрассой и границей памятника природы. Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Петрофитностепные сообщества на щебнистых известняковых склонах со скелетными почвами. Испытываемая рекреационная нагрузка в месте произрастания и антропогенная трансформация биотопов незначительные.

Асфоделина крымская *Asphodeline taurica* (Pall. ex M.Bieb.) Endl.

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. Внесен в КК РФ. Категория 3. Редкий [6]. В пределах обследованных территорий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» асфоделина крымская встречена в районе остепененного участка горного склона между автотрассой и границей памятника природы. Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Петрофитностепные сообщества на щебнистых известняковых склонах со скелетными почвами. Испытываемая рекреационная нагрузка в месте произрастания и антропогенная трансформация биотопов незначительные.

Ладанник крымский *Cistus tauricus* J.Presl et C.Presl

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. В пределах обследованных территорий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» ладанник крымский встречен в районе участка горного склона между автотрассой и границей памятника природы. Субстраты: маломощные коричневые щебнистые. Петрофитностепные сообщества на щебнистых известняковых склонах со скелетными почвами. Испытываемая рекреационная нагрузка в месте произрастания и антропогенная трансформация биотопов незначительные.

Василек Талиева *Rhaponticoides taliewii* (Kleopow) M.V.Agab. & Greuter

Категория статуса в ККС: Категория 3. Редкий [5]. На территории гидрологического памятника природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Лукулл» отмечен в пределах степного участка на севере охранной зоне ООПТ. Субстраты: ковыльно-типчаково-крымскополынные степи на тяжелых морских глинах. Описание растительности: овсяница валисская, полынь австрийская, вьюнок полевой, ковыль волосатик. Испытываемая рекреационная нагрузка в месте произрастания и антропогенная трансформация биотопов незначительные.

Филлофора курчавая *Phyllophora crispa* (Hudson) P.S. Dixon [*Ph. nervosa* (A.P. de Candolle) Greville]

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. Внесен в КК РФ. Категория 2а. Сокращающийся в численности [6]. В пределах обследованных акваторий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» филлофора курчавая достоверно зафиксирована в районе станций сбора материала, где для вида на небольших доступных глубинах характерны фрагментированные скопления. Испытываемая рекреационная нагрузка в местах произрастания и антропогенная трансформация биотопов незначительные.

Дазия короткоостроконечная *Dasya apiculata* (C.Agardh) De Toni [*Dasyopsis apiculate* (C.Agardh) A.D. Zinova]

Категория статуса в ККС: Категория 3. Редкий [5]. В пределах обследованных акваторий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» дазия короткоостроконечная достоверно зафиксирована на южном участке акватории, где встречены единичные растения. Испытываемая рекреационная нагрузка в местах произрастания и антропогенная трансформация биотопов незначительные.

Диктиота дихотомическая *Dictyota dichotoma* (Hudson) J.V. Lamouroux

Категория статуса в ККС: Категория 1. Находящийся под угрозой уничтожения [5]. В пределах обследованных акваторий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» один раз был обнаружен один фрагментированный таллом диктиоты дихотомической.

Ломентария сдавленная *Lomentaria compressa* (Kützing) Kylin

Категория статуса в ККС: Категория 3. Редкий [5]. Внесен в КК РФ. Категория 3д. Редкий [6]. В пределах обследованных акваторий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» ломентария сдавленная зафиксирована один раз в месте, где для вида на небольших доступных глубинах характерны небольшие скопления. Испытываемая рекреационная нагрузка в местах произрастания и антропогенная трансформация биотопов незначительные.

Нерейя нитевидная *Nereia filiformis* (J. Agardh) Zanardini

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. В пределах обследованных акваторий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Лукулл» нерейя нитевидная зафиксирована один раз. Испытываемая рекреационная нагрузка в местах произрастания имеется, но относительно слабая и незначительна по площади, антропогенная трансформация биотопов незначительна.

Стилофора нежная (с. ризоидная) *Stilophora tenella* (Esper) P.C. Silva [*S. rhizodes* (C.Agardh) J.Agardh]

Категория статуса в ККС: Категория 2. Сокращающийся в численности [5]. Внесен в КК РФ. Категория 2а. Сокращающийся в численности [6]. В пределах обследованных акваторий ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у Мыса Сарыч» стилофора нежная отмечена один раз. Испытываемая рекреационная нагрузка в местах произрастания и антропогенная трансформация биотопов незначительные.

Заключение

На относительно небольших площадях памятников природы и прилежащих акваториях в процессе проведенного экологического обследования было отмечено значительное количество редких видов растений, а в целом свыше 40 объектов наземной флоры, морских водорослей и животного мира, занесенных в Красную книгу города Севастополя. По итогам отмеченного состояния выявленных краснокнижных видов были актуализированы кадастровые сведения, разработаны рекомендации по обеспечению сохранности природных объектов и занимаемых ими территорий, улучшению их состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубев В.Н., Корженевский В.В. Методические рекомендации по геоботаническому изучению и классификации растительности Крыма. — Ялта, 1985. — 37 с.
2. Определитель высших растений Крыма / Под ред. Н.И. Рубцова. — Л.: Наука, 1972. — 549 с.
3. Флора Восточной Европы / Под ред. Н.Н. Цвелева. — СПб, 2001. — 516 с.
4. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. — СПб: Мир и семья, 1995. — 990 с.
5. Красная книга города Севастополя. — Калининград; Севастополь: ИД «РОСТ-ДОАФК», 2018. — 432 с.
6. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). — М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. — 885 с.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.29

ESG-ТРАНСФОРМАЦИЯ В РОССИИ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА[1]

ESG TRANSFORMATION IN RUSSIA: CHALLENGES AND PROSPECTS FOR THE FAR EAST

N. Rastanina
I. Galanina
I. Popadyev

Summary. The article explores the evolution of the ESG (Environmental, Social, Governance) concept as a response to global environmental challenges caused by the prioritization of economic performance over sustainable development. It analyzes three key components: environmental responsibility (management of ecosystem impact), social development (treatment of employees and local communities), and corporate governance (transparency and anti-corruption measures). Special attention is given to the situation in the Russian Far East, where the combination of abundant natural resources and outdated technologies creates significant environmental and social problems. Data from the RAEX ESG ranking is cited, confirming the spontaneous (non-systemic) nature of sustainable development principles adoption in Russian regions. The article emphasizes the need for systemic reforms, including the standardization of regulations and improved governance transparency, to successfully implement ESG principles and attract investments to the region.

Keywords: ESG, sustainable development, Far East, environmental responsibility, corporate governance, social risks.

Растанина Наталья Константиновна
к.б.н., доцент, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия
n.rastanina @yandex.ru
Галанина Ирина Александровна
старший преподаватель, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия
000911@togudv.ru
Попадьёв Илья Андреевич
Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия
hidden_account00@mail.ru

Аннотация. Статья исследует эволюцию концепции ESG (Environmental, Social, Governance) как ответа на глобальные экологические вызовы, вызванные приоритетом экономических показателей над устойчивым развитием. Анализируются три ключевых компонента: экологическая ответственность (управление воздействием на экосистемы), социальное развитие (отношение к персоналу и местным сообществам) и корпоративное управление (прозрачность и антикоррупционные меры). Особое внимание уделено ситуации на Дальнем Востоке России, где сочетание богатых природных ресурсов и устаревших технологий создает серьезные экологические и социальные проблемы. Приводятся данные ESG-рэнкинга RAEX, подтверждающий стихийный (несистемный) характер внедрения принципов устойчивого развития в российских регионах. Подчеркивается необходимость системных реформ, включая унификацию стандартов и повышение прозрачности управления, для успешной реализации ESG-принципов и привлечения инвестиций в регион.

Ключевые слова: ESG, устойчивое развитие, Дальний Восток, экологическая ответственность, корпоративное управление, социальные риски.

Во второй половине XX века в международной практике начал формироваться новый подход к природопользованию, основанный на принципах экологической ответственности. Длительный дисбаланс между экономическим ростом и сохранением природы привел к обострению экологических проблем, в том числе на Дальнем Востоке России. Одной из ключевых причин этой ситуации стал приоритет экономических показателей — дохода и прибыли — над экологией и социальной сферой.

В 2000-х годах активно развивается концепция ESG (Environmental, Social, Governance), предполагающая более ответственное отношение бизнеса к окружающей среде, обществу и корпоративному управлению. Впервые этот термин был введен Генеральным секретарем ООН Кофи Аннаном, акцентировавшим внимание на экологических аспектах ведения бизнеса.

Концепция ESG включает три ключевых компонента:

— E (environment) — бережное отношение к окружающей среде. Данный компонент представляет собой основу экологической устойчивости, отражая способность экосистем поддерживать структурно-функциональную организацию в условиях антропогенного воздействия, а также адекватность природоохранных мероприятий для сохранения

[1] Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 24-27-20085 https://rscf.ru/project/24-27-20085/ и Министерства образования и науки Хабаровского края (Соглашение № 121С/2024).

и восстановления биоразнообразия в зонах влияния промышленных объектов. Он интегрирует комплексные характеристики экосистем, показатели здоровья населения и социально-экономический потенциал территорий [1].

Эта концептуальная составляющая отличается высокой степенью сложности и остается предметом дискуссий среди международных организаций, промышленных субъектов и гражданского общества. Реализация мер по повышению экологической безопасности производств сопряжена со значительными финансовыми вложениями, при этом многие эколого-социальные эффекты природоохранной деятельности не поддаются точной экономической оценке. Существующие методики расчета требуют существенной модернизации и дальнейшей разработки [2].

— S (social) — высокий уровень социальной ответственности. Социальные принципы показывают отношение предприятия к персоналу, поставщикам, клиентам, партнерам и принципы управления, такие как прозрачность отчетности, уровень оплаты труда, отношения с персоналом и акционерами и т. д.;

— G (governance) — эффективное корпоративное управление. Управленческий компонент в структуре ESG концепции представляет собой систему корпоративного и государственного управления, обеспечивающую соблюдение принципов устойчивого развития

Современная теория устойчивого развития рассматривает организацию как единую социо-эколого-экономическую систему, где соблюдение ESG-принципов способствует долгосрочной стабильности.

Внедрение ESG-стандартов повышает репутацию компании, укрепляет доверие инвесторов и расширяет рыночные возможности [9]. По данным MSCI за 2023 год, организации с высокими ESG-рейтингами привлекают на 25 % больше инвестиций по сравнению с традиционными компаниями, что подтверждает растущее доверие финансового сообщества к ответственным бизнес-моделям.

Важным стимулом для развития концепции стало принятие в 2015 году Целей устойчивого развития ООН, которые охватывают экономические, экологические, социальные, этические, политические и другие аспекты. Компании, игнорирующие эти принципы, сталкиваются с критикой и рискуют потерять конкурентоспособность. Таким образом, соответствие принципам устойчивого развития перестает быть просто элементом корпоративной социальной ответственности, а становится необходимым условием для достижения стабильных финансовых результатов в долгосрочной перспективе. Актуализация руководителями компаний принципов управления и ведения деятельности, внутренних регламентов и документов позволяет увеличить рыночные возможности предприятия [4].

Однако внедрение ESG-подхода сопряжено с рядом проблем. В мире существует более 2000 стандартов и регламентов в области устойчивого развития, что усложняет их унификацию. Отсутствие единой методологии оценки ESG-показателей приводит к субъективным подходам со стороны инвесторов [3].

Следование принципам ESG концепции получило широкое распространение среди зарубежных компаний, в России эта концепция только развивается [4]. Только 15 % российских компаний раскрывают ESG-данные (против 90 % в ЕС). Объем «зеленых» облигаций на Московской бирже составляет 200 млрд рублей, но это лишь 0,5 % от мирового рынка.

Согласно ESG-рейтингу в период с 2018 по 2021 гг. (табл. 1) и ESG-рэнкингу RAEX за 2021 год (рис. 1), большинство из исследуемых российских регионов демонстрируют прогресс в экологии, социальной сфере и госуправлении. Однако эти изменения носят скорее стихийный характер, а не являются результатом системной политики или полноценных ESG-стратегий.

Таблица 1.

ESG-рейтинг субъектов ДФО, Московской и Ленинградской областей

Регион	Годы			
	2018	2019	2020	2021
	Место в рейтинге			
Хабаровский край	10	21	33	34
Ленинградская область	15	16	8	1
Московская область	22	24	20	10
Сахалинская область	25	31	15	20
Республика Саха (Якутия)	47	47	35	12
Чукотский автономный округ	50	49	41	69
Амурская область	53	60	56	61
Приморский край	57	50	57	52
Еврейская автономная область	76	75	77	55
Камчатский край	77	78	74	76
Магаданская область	78	79	79	83

Рэнкинг оценивает регионы по управлению ESG-рисками через:

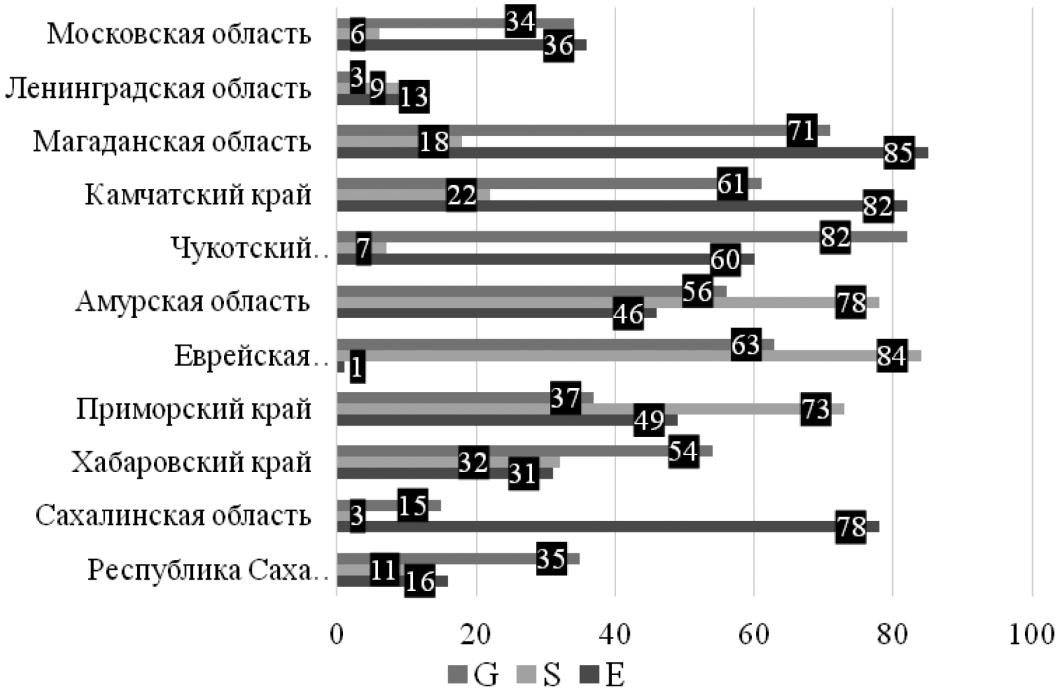


Рис. 1. ESG-рэнкинг субъектов ДФО, Московской и Ленинградской областей

1. Экологию — соотношение уровня загрязнения (например, выбросы автотранспорта) и мер по его снижению (доля транспорта на газовом топливе). Дисбаланс указывает на недостаточный контроль рисков.
2. Социальную сферу — по пяти парам показателей: бедность и соцрасходы; переполненность школ и расходы на образование; младенческая смертность и затраты на здравоохранение; преступность и расходы на безопасность; демография и создание рабочих мест.
3. Управление — по наличию инструментов прозрачности (антикоррупционные комиссии, доступность данных о доходах чиновников) и индексам Минфина по качеству финансового управления [5, 8].

В российских регионах, включая Дальний Восток, сохраняется значительное техногенное воздействие на экосистемы и здоровье населения. Замедление перехода к устойчивым практикам может снизить долгосрочную конкурентоспособность этих территорий [6]. Очевидно, что без целенаправленных улучшений регионам будет сложнее привлекать инвесторов, для которых этичность вложений становится все более важным критерием.

Дальний Восток — регион с богатыми природными ресурсами, но одновременно с высоким уровнем экологических проблем:

— загрязнение окружающей среды из-за добычи полезных ископаемых (олова, золота, угля и др.);
— вырубка лесов и деятельность промышленных предприятий;
— высокий углеродный след из-за устаревших технологий;
— деградация биоразнообразия.

Мероприятия по снижению экологического ущерба требуют значительных инвестиций, но их эффект не всегда поддается точной экономической оценке.

Ключевые проблемы Дальнего Востока в социальной сфере:

— миграционный отток из-за низкого качества жизни;
— недостаток рабочих мест и неравенство в доходах;
— слабое развитие инфраструктуры (здравоохранение, образование, ЖКХ) [7].

Социальная ответственность бизнеса включает справедливую оплату труда, прозрачность отчетности и взаимодействие с местными сообществами.

Эффективное корпоративное управление в ESG-концепции подразумевает:

1. Институциональное управление: прозрачность решений, антикоррупционные механизмы.
2. Стратегическое управление: интеграцию ESG в долгосрочное планирование.
3. Операционное управление: мониторинг, аудит и контроль цепочек поставок.

Исследования, проводимые в области корпоративного управления, выявили следующие системные проблемы: разрозненность нормативно-правовой базы

между федеральным центром и регионами, отсутствие единой базы ESG регулирования, коррупционные риски (индекс восприятия коррупции в регионе на 15–20 % выше среднероссийского); неэффективное использование бюджетных средств по программам охраны природы; устаревшие экологические стандарты, которые на 30–40 % ниже мировых.

Эмпирические исследования показывают низкий уровень зрелости ESG управления. Только 12 % компаний имеют выделенный ESG комитет в совете директоров, более 60 % не проводят регулярный аудит, недостаток квалифицированных менеджеров, обладающих необходимыми компетенциями [10].

Таким образом, внедрение ESG-принципов в деятельность предприятий Дальнего Востока — необходимое условие для устойчивого развития региона. Однако успешная реализация этой концепции требует решения системных проблем, включая унификацию стандартов, повышение прозрачности управления и инвестиции в экологические и социальные проекты. ESG — не просто тренд, а новая парадигма экономики. Для России, особенно Дальнего Востока, это шанс привлечь инвестиции, но только при условии системных реформ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин Д. За что российские компании получают «зеленые» оценки и попадают в ESG-рэнкинг / Д. Анохин // РБК Три буквы, меняющие бизнес. — 2021. — № 10 (166). — С. 77–79.
2. Астахов А.С. Концепция и принципы обеспечения экологической безопасности / А.С. Астахов // Экономическая наука современной России. — 2003. — № 3. — С.23–36.
3. Бессонова А.А. Экономические проблемы регионов и отраслевых комплексов / А.А. Бессонова, Е.Д. Рубинштейн // Проблемы современной экономики. — 2013. — №4(48). — С 280–284.
4. Дутова О.В. Теоретические основы концепции ESG и ее применимость на промышленных предприятиях России / О.В. Дутова // Глобальные вызовы и национальные интересы в условиях активизации сотрудничества между странами БРИКС. — 2024. — С. 223–228.
5. Корпоративное управление как фактор повышения инвестиционной привлекательности: коллективная монография / под ред. Е.Б. Завьяловой, В.Б. Кондратьева. — Моск. гос. ин-т междунар. отношений (ун-т) МИД России, каф. экономической политики и государственно-частного партнерства. — М.: МГИМО-Университет, 2014. — 311 с.
6. Мельниченко Н.Ф.В. Формирование экосистемы устойчивого развития в России: проблемы и перспективы / Н.Ф. Мельниченко, О.В. Маркова // Муниципальная академия. — 2024. — № 3. — С. 61–72.
7. Немирова Г.И. Социально-экономическое развитие приграничного региона: особенности и финансовое обеспечение: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / Г. И. Немирова. — Оренбург, 2009. — 42 с.
8. Осипова М.Ю. Разработка статико-динамического подхода к оценке и управлению устойчивым развитием региона: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / М. Ю. Осипова. — Пермь, 2017. — 22 с.
9. Рязанова О.Е. Как российские компании встают на ESG-путь? / О.Е. Рязанова, В.А. Высотина // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. — 2023. — №1(37). — С. 140–148.
10. Ткаченко И.Н. Исследовательский инструментарий изучения современных трендов реализации ESG-практик в российских компаниях / И.Н. Ткаченко, Л.А. Раменская //МИР (Модернизация, Инновации. Развитие). — 2024. — Т. 15.— №1. — С. 148–165.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.40

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА КАЛЬЦИЙ-АККУМУЛИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ МИТОХОНДРИЙ ПЕЧЕНИ КРЫС

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE CALCIUM-ACCUMULATING ABILITY OF RAT LIVER MITOCHONDRIA

R. Khalilov
A. Dzhafarova
Z. Rabadanova
S. Kayalova

Summary. An increase in the incubation temperature leads to an increase in the sensitivity of isolated rat liver mitochondria to Ca^{2+} — induced opening of nonspecific calcium–dependent pores (mitochondrial permeability transitionpore). Mitochondrial swelling contributes to significant fluctuations due to factors unrelated to Ca^{2+} ions. In the Arrhenius coordinates, the temperature dependence of the rate of Ca^{2+}-induced swelling is nonlinear: it is approximated by two straight lines intersecting at 25 °C, which indicates a sharp change in the sensitivity of mitochondria to Ca^{2+} ions in a narrow temperature range. As the incubation temperature of mitochondria increases, their calcium capacity increases, which indicates an increase in calcium storage capacity. A positive correlation was found between the Ca^{2+} capacity of mitochondria and the rate of calcium-induced swelling, which depends on the state of MPTP.

Keywords: rats, mitochondria, calcium–dependent nonspecific mitochondrial pore.

Халилов Рустам Абдуразакович
К.б.н., доцент, Дагестанский государственный университет, (г. Махачкала)
dagbiofak@mail.ru
Джафарова Альбина Мехьядиновна
К.б.н., доцент, Дагестанский государственный университет, (г. Махачкала)
albina19764@mail.ru
Рабаданова Зухра Гусейновна
К.б.н., доцент, Дагестанский государственный университет, (г. Махачкала)
r.zukhra@yandex.ru
Каялова Сабират Газимагомедовна
ФГБОУ ВО Дагестанский государственный медицинский университет Минздрава России
kayalova99@mail.ru

Аннотация. Повышение температуры инкубации приводит к увеличению чувствительности изолированных митохондрий печени крыс к Ca^{2+} — индуцированному открытию неспецифических кальций — зависимых пор (mitochondrial permeability transitionpore — MPTP). Набухание митохондрий способствует значительным флуктуациям, обусловленные факторами, не связанные с ионами Ca^{2+}. В координатах Аррениуса температурная зависимость скорости Ca^{2+} — индуцированного набухания носит нелинейный характер: она аппроксимирована двумя прямыми, пересекающимися при 25°C, что свидетельствует о резкой смене чувствительности митохондрий к ионам Ca^{2+} в узком температурном диапазоне. С повышением температуры инкубации митохондрий увеличивается их кальциевая ёмкость, что указывает на повышение кальций-аккумулирующей способности. Между Ca^{2+}-ёмкостью митохондрий и скоростью кальций-индуцированного набухания, зависящего от состояния MPTP, обнаружена положительная корреляция.

Ключевые слова: крысы, митохондрии, кальций — зависимая неспецифическая митохондриальная пора.

В ходе эволюции живых организмов именно ионы кальция (Ca^{2+}), благодаря своим уникальным физическим и химическим свойствам, является универсальным вторичным посредником в эукариотических и прокариотических клетках. Ca^{2+} характеризуется быстрой кинетикой связывания и диссоциации от белковых молекул и способен создавать лабильные комплексы с различными белками. Он важен для поддержания структуры цитоскелета, а многочисленные ферментативные системы используют этот ион как кофактор. Помимо этого, Ca^{2+} может оказывать влияние на организацию биологических мембран, локально способствуя повышению их текучести или приводит к их слиянию.

Для тонкой регуляции кальциевого сигнала в клетке существует широкий спектр молекул-мишеней, декодирующих и индуцирующих изменения концентрации Ca^{2+} в клетке (ионные помпы, Ca^{2+}-зависимые ферменты, каналы, Ca^{2+} -связывающие белки, которые локализованы в цитоплазме и в органеллах). Главную роль в поддержании гомеостаза кальция и его внутриклеточном транспорте играют митохондрии. Обмен кальция с соседствующим окружением осуществляется за счет Ca^{2+} — транспортной системы [1]

Помимо этого, внутренняя и внешняя мембраны митохондрий пронизаны неспецифическими кальций — зависимыми порами (mitochondrial permeability

transitionpore — MPTP), которые открываются при повышении концентрации кальция в матриксе митохондрий. MPTP образован такими белками как, потенциал — зависимый анионный канал (VDAC) и АТФ/АДФ — антипортер, которые в комплексе образуют мегаканал, открывание которого делает митохондрии проницаемыми для веществ массой менее 1500 Да. Этот процесс сопровождается снижением мембранного потенциала, набуханием и перфорацией митохондрий, приводя к выходу в цитозоль проаппоптических факторов [5]. Формирование кальцийзависимых неспецифических пор высокой проницаемости на митохондриальной мембране может запустить процессы апоптоза или некроза. Однако кратковременное открытие поры является нормальным физиологическим процессом, которые защищает митохондрии от перегрузки [6].

Халилова и сотр. [3] Показано, что при снижении температуры тела гомойотермных животных до 20°С и 30°С и последующим согревании их до 37°С, происходит значительное изменение MPTP и кальций аккумулирующей способности митохондрий. Для раскрытия механизмов изменения данных параметров при гипотермических состояниях животных целесообразным представляется исследование зависимости их от температуры.

Материал и методы

В экспериментах использовали белые беспородные крысы (Ratusalba), которые содержались на стандартном рационе в условиях вивария. Во избежание возрастных и суточных колебаний на результаты экспериментов, опыты проводили на самцах весом 150–200 г в одно и то же время дня.

Выделение интактных митохондрий производили методом диффе-ренциального центрифугирования 2]. Крыс декапитировали. Быстро (в течение 60 секунд) выделяли печень, промывали ледяной средой выделения (1°С) в течение 5 минут. Все процедуры выполнялись на холоде при температуре 2–4°С. Печень измельчали, пропускали через пресс и готовили 10 % гомогенат в среде выделения, после чего центрифугировали при 2000 об/мин 10 минут.

Супернатант отделяли и центрифугировали при 10000 g в течение 10 минут. К полученному осадку приливали 7 мл среды выделения, затем центрифугировали при 10000 g в течение 10 минут. Процедуру повторяли дважды.

Среда выделения: 0,25 М сахароза, 10 мМHepes, 1 мМ ЭДТА, 1мМ ЭДТА (pH=7.4).

Определение функционального состояния Ca^{2+}-индуцируемой митохондриальной поры проводили в диапазоне температур 15–37°С. Для этого кювету, содержащую среду инкубации, предварительно прогревали в кюветном отделении спектрофотометра. По достижению заданной температуры добавляли суспензию митохондрий, затем раствор $CaCl_2$.

Результаты и обсуждения

Митохондрии способны аккумулировать ионы Ca^{2+} до тех пор, пока концентрация кальция не станет предельной и не откроется MPTP. Ионы Ca^{2+} могут входить в митохондрии, вследствие чего происходит набухание, что уменьшает интенсивность их поглощения. Таким образом, по кинетике светопоглощения можно оценить чувствительность митохондрий к ионам Ca^{2+}, а также состояние MPTP. Интактные митохондрии (инкубированные в среде, содержащие субстраты дыхания) способны поглощать ионы Ca^{2+}, если же происходит изменение функционирования MPTP, то чувствительность ионов Ca^{2+} резко снижается и набухание не происходит.

Возможно, состояние MPTP зависит от температуры. Тогда при снижении температуры тела при гипотермии или донорского органа при его холодовой консервации существенно изменит функционирование MPTP и кальциевый гомеостаз в митохондриях. В связи с эти мы исследовали температурную зависимость светопоглощения митохондрий при добавлении ионов Ca^{2+} (420 мкМ). Для этого в течение 3 минут инкубировали митохондрии в среде инкубации, содержащей субстрат дыхания сукцинат, после чего добавляли хлорид кальция и фиксировали каждые 10 секунд изменения оптической плотности полученной смеси.

Из рис. 1 видно, что при всех температурах инкубации, происходит снижение светопоглощения митохондрий, обусловленных их набуханием после добавления ионов Ca^{2+}. При этом характер светопоглощения и его кинетика зависит от температуры инкубации. Чем выше температура инкубации, тем более активнее происходит набухание митохондрий.

Из рисунка видно, что при температуре 15–20°С митохондрии мало чувствительны к ионам Ca^{2+} по сравнению с более высокими температурами. При высоких температурах (30–37°С) кинетика светопоглощения имеет нелинейный характер, то есть имеется быстрая фаза набухания (примерно в течение 80–90 секунд) и медленная фаза. Возможно, из-за высоких скоростей концентрация кальция в митохондриях за короткий промежуток времени достигает насыщающих концентраций, а это, в свою очередь, приводит к необратимому открытию митохондриальной поры и входу воды в митохондрии.

Интересно то, что исходное значение оптических плотностей митохондрий, инкубированных при разных

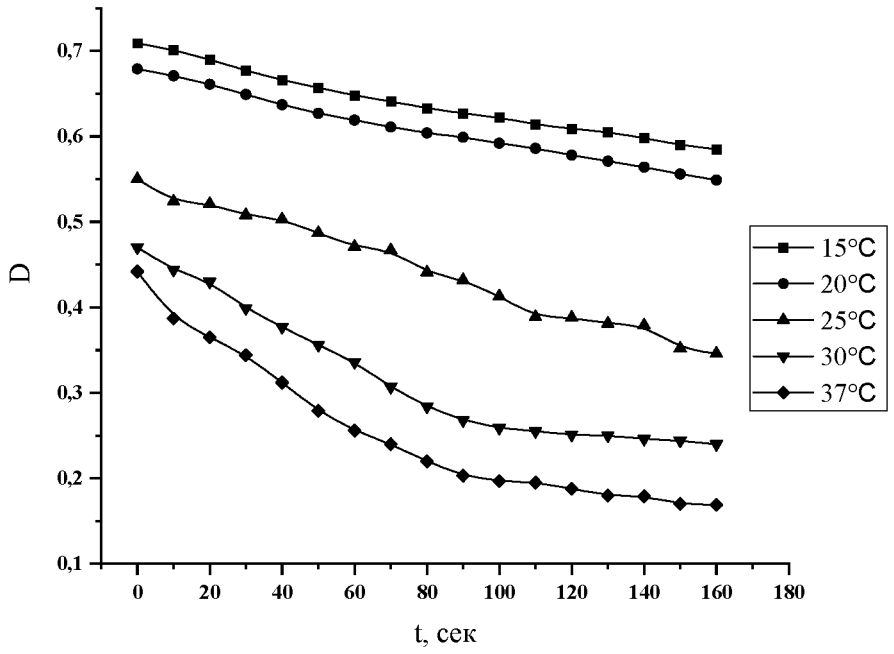


Рис. 1. Кинетика Ca^{2+} индуцированного набухания митохондрий печени контрольных крыс при различных температурах инкубации

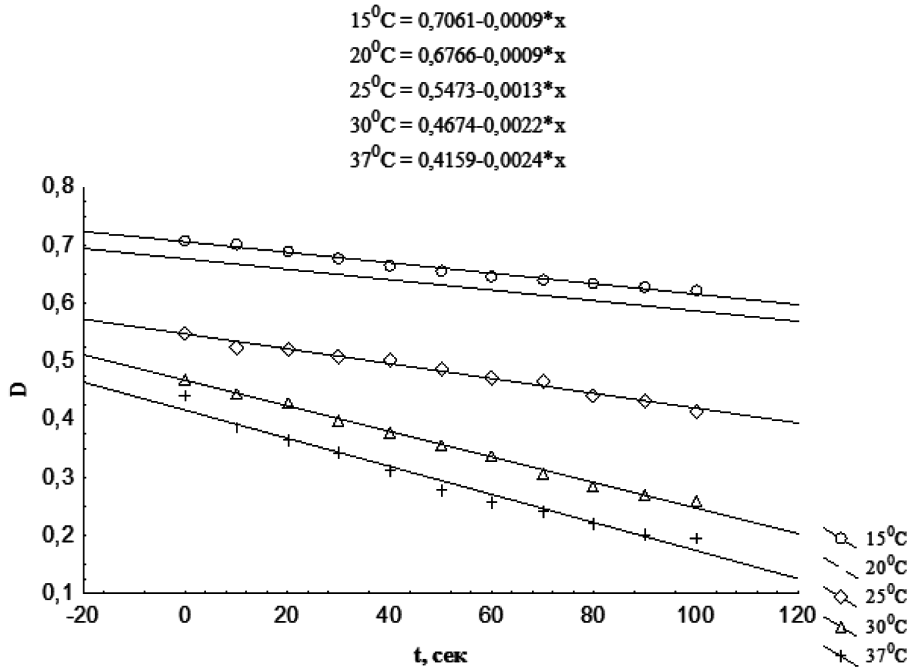


Рис. 2. Влияние температуры на скорость Ca^{2+}-зависимого набухания митохондрий печени крыс

температурах в течение 3 минут, отличается. Так при температуре 15°C исходное значение оптической плотности — 0,72, а при 37°C — 0,45; то есть при высоких температурах инкубации исходные митохондрии, до добавления ионов Ca^{2+}, имеют большой объем. Это связано с тем, что происходит частичное набухание митохондрий, обусловленное факторами, не связанные с ионами Ca^{2+}. Интересно то, что кривая светопоглощения, соответствующая температуре 25°C, занимает промежуточное положение между кривыми, соответствующими более низким (15–20°C) или более высоким температурам среды инкубации (30–37°C).

Поскольку кривые светорассеяния при высоких температурах выходят на плато уже на 100-й секунде измерения для того, чтобы рассчитать скорость набухания, применяя пакет программ STATISTICA, были использованы только значения, соответствующие диапазону времени от 0 до 100. Используя метод наименьших квадратов, все кривые можно представить в виде прямых.

На рисунке 2 отражены уравнения линейной регрессии для каждой температуры $y= b–ax$, где, a — это скорость набухания, равная наклону прямой (dD/dt).

С помощью уравнения линейной регрессии были найдены скорости набухания митохондрий.

Оказалось, что скорость набухания митохондрий при температуре 15–20°C (dD/dt относительных ед/сек) абсолютно идентичны, при этом инкубация при 25°C увеличивает скорость набухания на 44,4%. Инкубация при 30°C увеличивает скорость набухания митохондрий на 69,2 % по сравнению с 25°C. Инкубация при 37°C приводит к незначительному повышению скорости набухания по сравнению с температурой 30°C.

Для исследования температурной зависимости скорости Ca^{2+}-индуцированного набухания митохондрий, все значения скоростей были представлены в координатах Аррениуса.

Из графика видно, что температурная зависимость носит нелинейный характер, то есть на графике имеется излом, примерно соответствующий температуре 25°C. Это свидетельствует о том, что происходит резкая смена чувствительности митохондрий к ионам Ca^{2+} при определенной температуре, что может быть обусловлено изменениями в функционировании кальциевой поры в некотором узком температурном диапазоне.

Изломы на графике Аррениуса могут быть обусловлены несколькими причинами. Во-первых, фазовыми переходами в липидах мембран митохондрий, так при температуре 25°C, эти фазовые переходы могут влиять на конформацию белков, формирующие митохондриальную пору, в результате чего происходит резкое снижение энергии активации для митохондриальной поры, а также повышение скорости набухания митохондрий. Кроме того, фазовый переход может оказать воздействие на вход ионов Ca^{2+} в митохондрии, в котором участвуют унипортёр Tag, Na^{+}-Ca^{2+}-антипортёр и Ca^{2+}-протонный антипортёр. Известно, что липидный состав наружной и внутренней мембран митохондрий отличается. Фазовый переход для большинства липидов находятся в области 25–27°C. Внутренняя мембрана содержит большое количество «двойного» фосфолипида кардиолипина (30 %), что обеспечивает непроницаемость мембраны для ионов и отличается необычно высоким содержанием белка (около 70 % от веса).

Во-вторых, причиной нелинейной температурной зависимости могут явиться фазовые переходы в самих белках транспортёрах ионов Ca^{2+} или же в белках, формирующих MPTP.

В-третьих, излом может быть обусловлен резкими изменениями потенциала митохондрий. Известно, что вход ионов Ca^{2+} в митохондрии зависит от степени энергезированности митохондрий, то есть от мембранного потенциала митохондрий. В свою очередь, мембранный потенциал зависит от белков электрон-транспортной цепи. В работе Ягужинского и др. было отмечено, что в температурном диапазоне может происходить резкое

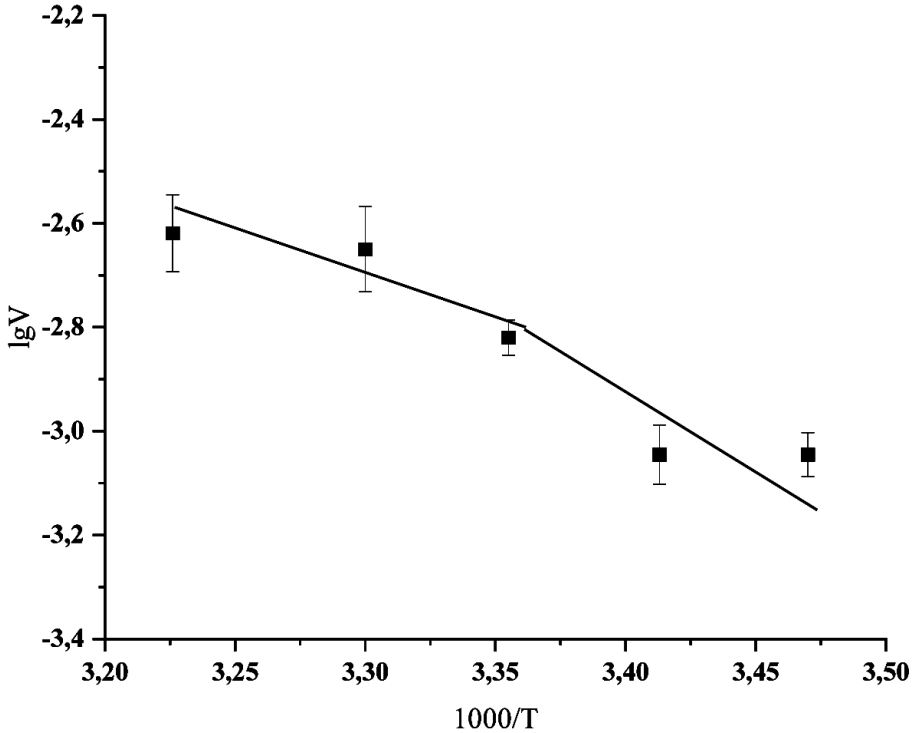


Рис. 3. Температурная зависимость скорости Ca^{2+} -индуцированного набухания в координатах Аррениуса

изменение ЭТЦ и переход в режим работы, называемый «режим суперкомплекса». Функционально значимые низкотемпературные структурные перестройки в митохондриальных мембранах теплокровных животных [4].

Одной из важнейших характеристик кальций-аккумулирующей способности митохондрий является кальциевая ёмкость. Под кальциевой ёмкостью понимается максимальное количество кальция (мкМ), которое можно закачать в митохондрию, прежде чем в ней образуется МРТР. Кальций быстро входит в митохондрии по градиенту электрохимического потенциала с помощью Ca^{2+}-унипортера и медленно выходит с помощью Ca/Na и Ca/H-антипортеров, либо быстро через МРТР.

В первую очередь вход кальция управляется градиентом электрохимического протонного потенциала митохондрий. Неповрежденная внутренняя мембрана энергезированных митохондрий несет со стороны матрикса отрицательный заряд. Вход в митохондрии положительно заряженных ионов кальция по градиенту электрохимического потенциала, способствует снижению Δμ, что приводит к стимуляции дыхания митохондрий и повышению потребления ими кислорода.

Наше исследование показало, что количество добавленного кальция, стимулирующего дыхание и отражающего Ca^{2+}-ёмкость митохондрий, зависит от температуры. При температуре инкубации 25°C, кальциевая ёмкость увеличивается незначительно, тогда как при высокой температуре инкубации (37°C) ёмкость митохондрий увеличивается существенно. Формирование кальций — зависимых неспецифических пор высокой проницаемости на митохондриальной мембране может запустить процессы апоптоза или некроза. Однако кратковременное открытие поры является нормальным физиологическим процессом, которые защищает митохондрии от перегрузки [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградская, И.С. Кузнецова Т.Г., Супруненко Е.А. Митохондриальная сеть скелетных мышечных волокон / И.С. Виноградская, Т.Г. Кузнецова, Е.А. Супруненко // Вестник Московского университета. — 2014. — Серия 16. Биология. №2.
2. Рыбальченко В.К. Структура и функции мембран / В.К. Рыбальченко, М.М. Коганов — Киев: ВШ. 312 с.
3. Халилов, Р.А. Интенсивность свободно-радикальных процессов в митохондриях печени крыс при умеренной гипотермии различной длительности / Р.А. Халилов, А.М. Джафарова, С.И. Хизриева, В.Р. Абдуллаев // Цитология. — 2019. — Т.91 — №7. — С. 1–12.
4. Ягужинский, Л.С. Функционально значимые низкотемпературные структурные перестройки в митохондриальных мембранах теплокровных животных в журнале / Л.С. Ягужинский, Ю.А. Скоробогатова, С.В. Нестеров // Биофизика. — 2017. — Т. 62 — № 3. — С. 518–524
5. Bonora, M. Molecular mechanisms of cell death: central implication of ATP synthase in mitochondrial permeability transition. / M. Bonora, M.R. Wieckowski, C. Chinopoulos, O. Kepp, G. Kroemer, L. Galluzzi, P. Pinton // Oncogene. — 2015. — V. 34 — No12. — P.1475–1486.
6. Lu, X. Individual cardiac mitochondria undergo rare transient permeability transition pore openings / X. Lu, J. Q. Kwong, J. D. Molkentin, D. M. Bers // Circ Res. — 2016. — V. 118. — P. 834–841.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.01

ОБУЧЕНИЕ МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ОНЛАЙН РЕКЛАМНЫХ КАМПАНИЙ

TRAINING A MODEL FOR IDENTIFICATION AND INFORMATION EXTRACTION FROM ONLINE ADVERTISING CAMPAIGNS

V. Agapov

Summary. The methodology for developing an intelligent system for analyzing online advertising based on machine learning and computer vision technologies is considered. The goal of the study is to extract information from advertising banners displayed to users in the online space and, on this basis, to form a social profile of the user. The system analyzes screenshots containing online advertisements and determines the type of advertisement and the user's presumed interests based on the content. One of the key components is the YOLO object detector.

Keywords: machine learning, advertising, neural networks, social portrait, computer vision, behavioral analysis.

Агапов Виктор Евгеньевич
Волгоградский государственный технический университет
black.vis1on@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается методология построения интеллектуальной системы анализа интернет-рекламы, основанной на использовании технологий машинного обучения и компьютерного зрения. Целью исследования является извлечение информации из рекламных баннеров, отображаемых пользователям в онлайн-пространстве, и формирование на этой основе социального портрета пользователя. Система анализирует скриншоты, на которых присутствует интернет-реклама, и на основе визуального и текстового контента определяет тип рекламы и предполагаемые интересы пользователя. Ключевыми компонентами являются детектор объектов YOLO.

Ключевые слова: машинное обучение, реклама, нейронные сети, социальный портрет, компьютерное зрение, поведенческий анализ.

Введение

В условиях стремительной цифровизации реклама стала неотъемлемым элементом онлайн-коммуникации между компаниями и потребителями. Современные рекламные алгоритмы учитывают множество факторов — от истории поиска до поведения пользователя в сети — для создания персонализированных баннеров и объявлений. Однако при этом практически не исследован обратный подход: анализируя показываемую рекламу, можно извлекать сведения о самом пользователе, его интересах и поведенческих паттернах [1].

Ряд существующих научных работ посвящён предсказанию поведения пользователей и оптимизации алгоритмов показа рекламы. Так, Guorui ZhouDeep и Chengru Song в своем исследовании [2] предложен подход к прогнозированию кликов на основе многослойного моделирования интересов. В свою очередь Wei Xiong, Ziyi Xiong, Tina Tian и другие в своей статье [3] рассматривают поведенческий таргетинг, но не ставят задачу обратной реконструкции интересов. Кроме того, Лукьяненко Н.А., Решетникова И.И. в своей работе [4] подчеркивают влияние рекламы на поведение, но не рассматривают потенциал рекламы как источника аналитических данных о пользователе.

Таким образом, несмотря на активное развитие технологий таргетинга и персонализации, задача анализа самих рекламных показов как отражения интересов пользователя остаётся слабо проработанной. Между тем, учитывая индивидуализированный характер интернет-рекламы, подобный анализ может стать эффективным инструментом в маркетинговой аналитике, социологических исследованиях и рекомендательных системах.

Целью настоящего исследования является разработка интеллектуальной системы, способной извлекать визуальные и текстовые признаки из рекламных баннеров, классифицировать их по тематике и формировать гипотезы о предпочтениях пользователя. Система интегрирует методы компьютерного зрения, искусственного интеллекта и поведенческой аналитики для формирования элементов социального портрета.

Алгоритм разрабатываемой системы

Разработка системы анализа рекламных баннеров включает в себя ряд последовательных этапов (рис. 1).

На первом этапе необходимо определить подходящую нейросетевую архитектуру для задачи обнаружения и классификации объектов на изображениях. Будут проанализированы современные модели, применяемые для object detection. По итогам анализа будет выбрана оптимальная модель для последующего обучения.

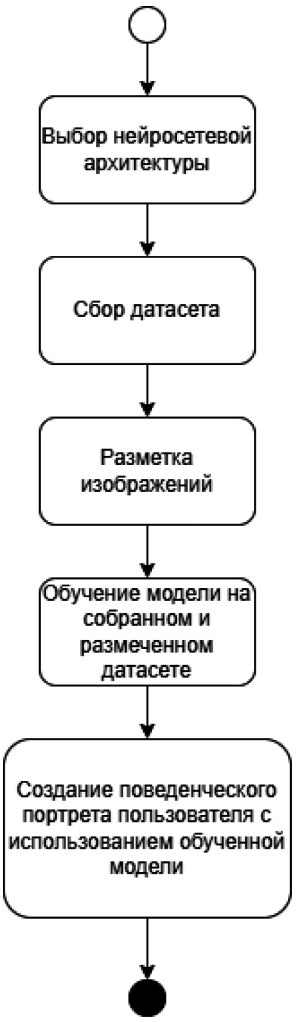


Рис. 1. Алгоритм разрабатываемой системы

Следующим шагом станет формирование набора обучающих данных. Для этого будут собраны изображения рекламных баннеров различных тематик. Источниками станут открытые интернет-ресурсы, в том числе скриншоты реальных страниц, на которых размещается баннерная реклама.

Собранные изображения будут вручную размечены. Для каждого баннера выделяются ключевые визуальные элементы (объекты), представляющие интерес для дальнейшей классификации. Разметка сохраняется в формате, совместимом с выбранной архитектурой.

После подготовки данных будет проведено обучение модели. Этап включает: предобработку данных, настройку параметров обучения, запуск процесса обучения и оценку точности на валидационном наборе. По завершении будет получена нейросеть, способная обнаруживать и классифицировать объекты на рекламных баннерах.

Обученная модель будет выполнять обнаружение объектов и возвращать информацию о найденных элементах — координаты, классы и вероятности. Объекты будут визуализироваться в виде аннотированного изображения с подписями.

На основе обнаруженных объектов система определит тематику баннера. Тематики накапливаются и используются для построения предварительного поведенческого профиля пользователя. Такой профиль может включать список предполагаемых интересов [5].

Анализ нейросетевой архитектуры

Выбор нейросетевой архитектуры для решения задачи извлечения и анализа информации с рекламных баннеров — критически важный этап. Наша цель — обнаружить и распознать рекламные элементы на баннере (объекты, текстовые блоки), после чего эти данные используются для семантической интерпретации и классификации.

YOLO (You Only Look Once) — однопроходная архитектура, широко используемая в задачах real-time object detection. Обеспечивает высокую скорость и хорошую точность при детекции множества объектов [6].

Faster R-CNN — двухэтапная модель, обеспечивающая высокую точность за счёт отдельного этапа генерации регионов интереса. Используется в системах видеонаблюдения и медицинского анализа.

SSD (Single Shot MultiBox Detector — компромиссная однопроходная модель с умеренной точностью, быстро

Таблица 1.

Сравнение нейросетевых архитектур

	Преимущества	Недостатки	Скорость	Где используется
YOLO v8	Хорошая точность; Легко адаптируется	Чуть уступает трансформерам по точности	30–60 FPS (высокая)	Реальное время, визуально насыщенные сцены
Faster R-CNN	Точная; Хорошо справляется с перекрытиями	Требует ресурсов	5–10 FPS (низкая)	Высокоточная offline аналитика
SSD	Простая реализация	Снижение точности на разных масштабах	20–30 FPS (средняя)	Мобильные устройства, простые сцены
DETR	Новая парадигма, высокая точность на сложных изображениях	Плохо работает на маленьких датасетах	< 5 FPS (очень низкая)	Научные и офлайн-задачи с большими датасетами

обучается и используется в задачах с невысокими требованиями к точности [7].

DETR (Detection Transformer) — трансформерная архитектура с высокой точностью при сложных сценах. Подходит для оффлайн-анализа, но не для real-time систем.

На основе анализа было принято решение использовать YOLO как основную нейросетевую архитектуру в нашей системе по следующим причинам:

1. Поддержка множественных объектов на одном изображении

YOLO эффективно выявляет сразу несколько объектов на одном баннере, присваивает каждому из них класс и координаты, что критично для анализа насыщенных визуальных сцен с перекрывающимися элементами.

2. Высокая скорость работы и возможность real-time обработки

Благодаря однопроходной архитектуре, модель обрабатывает изображение за один шаг, что обеспечивает быструю и стабильную работу даже при больших объёмах данных.

3. Гибкость в обучении на собственных классах

YOLO легко адаптируется под пользовательские категории, позволяя обучать модель на размеченных баннерах без необходимости проектирования нейросети с нуля.

Эта архитектура демонстрирует оптимальный баланс между точностью, скоростью и возможностью интеграции с другими компонентами системы.

Общая архитектура системы

Диаграмма архитектуры разработанной системы визуализирует процесс автоматического анализа рекламного баннера от момента загрузки изображения до получения результатов анализа (рис. 2). В центре всей архитектуры находится модуль обработки изображений, к которому поступает входное изображение. Этот модуль отвечает за передачу изображения в предварительно обученную модель компьютерного зрения, специализирующуюся на обнаружении и классификации объектов.

Классификация тематик рекламы основана на распознавании объектов на баннере с помощью обученной модели. Каждый обнаруженный элемент соотносится с одной из заранее определённых категорий. Например, изображения автомобилей указывают на автомобильную тематику, изображения жилых домов и квартир — на сферу недвижимости, а присутствие гаджетов определяет технологическую тематику.

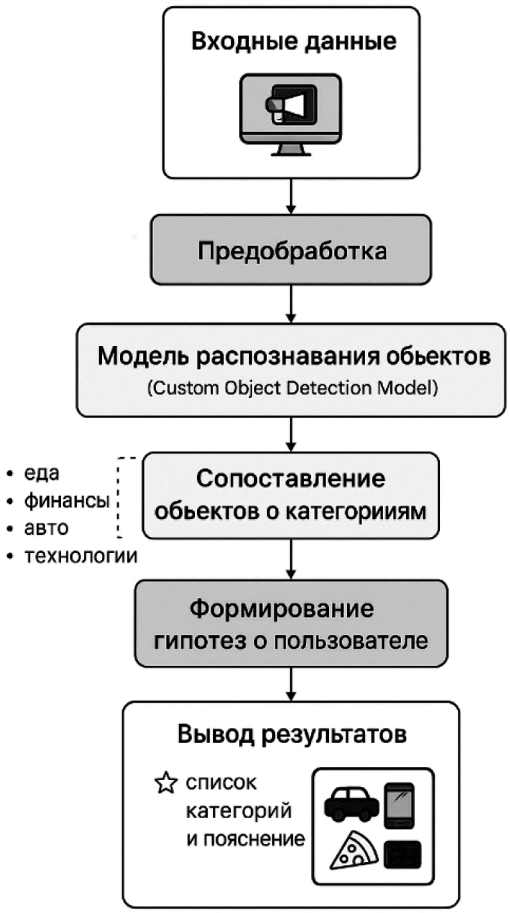


Рис. 2. Диаграмма общей архитектуры системы

Модель, обученная на размеченных рекламных баннерах, анализирует содержимое изображения и выделяет ключевые визуальные элементы ассоциируемые с конкретными категориями интересов. Результаты этой детекции направляются в следующий логический блок — модуль сопоставления категорий, где происходит связывание обнаруженных объектов с заранее определёнными поведенческими категориями.

Система интерпретирует эти категории и формирует краткое текстовое описание, отражающее предполагаемые интересы пользователя. Одновременно с этим, в модуле визуализации формируется аннотированное изображение, на котором все распознанные объекты помечены подписями. Это позволяет наглядно убедиться в корректности распознавания.

Таким образом, архитектура построена вокруг детекции визуального контента с использованием предобученной нейросети, сопоставления объектов с заранее определёнными категориями, интерпретации результата через поведенческую призму и вывода этих данных

в визуальной и текстовой форме. Минималистичный стек технологий и отсутствие необходимости в сложной инфраструктуре позволяют сосредоточиться на логике анализа и классификации, обеспечивая при этом гибкость и возможность быстрого прототипирования.

Описание модели разрабатываемой системы

Разрабатываемая система представляет собой интеллектуальный модуль анализа визуального рекламного контента. Её основная задача — извлекать ключевые визуальные элементы из рекламных баннеров и на основе их анализа формировать гипотезы о предпочтениях и интересах пользователя. В центре системы находится нейросетевая модель компьютерного зрения, обученная на кастомной выборке рекламных изображений.

Для построения эффективной модели была собрана специализированная обучающая выборка рекламных баннеров, охватывающих различные тематические категории. В общей сложности в датасет вошло около 400 изображений, содержащих рекламу из различных тематических категорий.

Изображения собирались из открытых источников, включая рекламные платформы, онлайн-журналы и тематические сайты. Особое внимание уделялось разнообразию визуального представления рекламы: в выборку вошли баннеры с различной композицией, цветовой гаммой, графическими элементами и плотностью текста. Это позволило сформировать репрезентативный набор данных, отражающий реальные условия, в которых реклама демонстрируется пользователям в интернете.

Каждое изображение проходило ручную разметку с использованием инструмента LabelImg. Разметка проводилась в формате YOLO, где вручную выделялись ключевые визуальные элементы, представляющие интерес для классификации. Всего в процессе разметки было аннотировано более 500 объектов, в среднем по два–три значимых объекта на одно изображение.

Для последующего обучения и оценки качества модели датасет был разделён на обучающую и валидационную выборки в пропорции 80 к 20. Разметка велась в виде текстовых файлов формата YOLO, содержащих координаты ограничивающих рамок и идентификаторы классов объектов [8].

После подготовки и разметки данных была проведена процедура обучения модели на основе YOLOv8. Обучение осуществлялось с использованием предобученной модели yolov8l.pt в рамках библиотеки Ultralytics YOLO, обеспечивающей простоту запуска и гибкость конфигурации [9].

Параметры обучения были подобраны с учётом объёма доступных данных. Количество эпох было установлено равным 50, что позволило достичь устойчивой сходимости при сохранении разумного времени обучения. Объём мини-батча составлял 16 изображений. Файл конфигурации ads.yaml содержал путь к датасету, информацию о структуре подкаталогов (train, val) и описание классов объектов. По завершении обучения сохранялась модель с наилучшей точностью, которая далее использовалась для проведения тестов на новых изображениях и оценки качества распознавания рекламных объектов [10].

Во время работы системы загружается изображение баннера, которое автоматически передаётся на вход модели. Система выполняет распознавание объектов и сопоставляет их с тематическими категориями: «еда», «технологии», «авто», «финансы», «недвижимость» и т.д. Каждая категория связана с предполагаемыми поведенческими характеристиками пользователя — например, покупка автомобиля или увлечение технологиями.

Результатом работы модели становится список определённых категорий, дополненный визуализированным изображением с аннотированными объектами. Таким образом, система позволяет не только формировать гипотезы о пользовательских интересах, но и визуально оценить корректность распознавания, что особенно важно в исследовательских и аналитических задачах.

Пример работы системы

Работа системы начинается с этапа загрузки изображения рекламного баннера через встроенную функцию files.upload() (рис. 3). После выполнения данной операции изображение автоматически передаётся на вход аналитическому модулю.

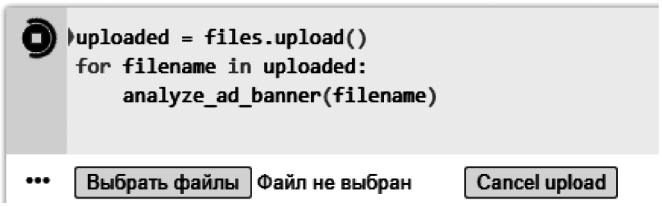


Рис. 3. Ячейка кода для загрузки изображения

Следующим этапом осуществляется обработка изображения средствами модели детекции объектов (рис. 4). Модель производит детекцию ключевых объектов на изображении, определяет их координаты и относит к соответствующим классам. Например, при обнаружении изображения автомобиля формируется вывод о наличии элементов категории «авто», что в свою очередь, может интерпретироваться как маркер интереса к автомобилям (рис. 5).

Рис. 4. Пример загружаемого рекламного баннера

Результаты детекции визуализируются в виде изображения с аннотированными объектами (рис. 6). Каждому элементу сопоставляется прямоугольная рамка и текстовая подпись, отражающая предсказанный класс. Это позволяет наглядно представить структуру извлеченной информации и убедиться в корректности распознавания объектов.

После анализа система выводит в текстовом формате найденные категории и соответствующие поведенческие предположения (рис. 7).

Заключение

В ходе работы была разработана система, предназначенная для автоматического анализа рекламных баннеров с целью определения интересов пользователя на основе визуального содержимого. Система реализована с использованием языка программирования Python и интегрирована в облачную среду Google Colab,

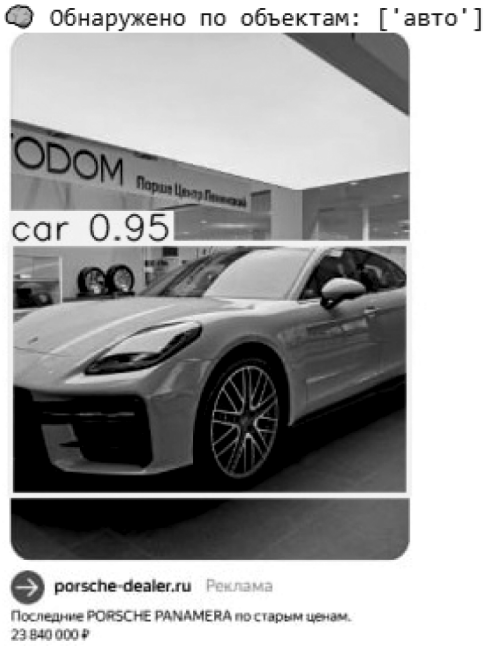


Рис. 6. Рекламный баннер с аннотациями

что обеспечивает доступность и удобство использования без необходимости установки дополнительного программного обеспечения.

В процессе разработки был проведён обзор существующих подходов к анализу изображений и пользовательской сегментации, что позволило определить оптимальные методы распознавания объектов. В качестве основной технологии была выбрана модель YOLOv8, которая показала высокую точность и скорость работы при определении объектов на изображении.

Разработанное решение использует механизм сопоставления обнаруженных объектов с заранее заданными пользовательскими категориями, что позволяет строить гипотезы о поведенческих характеристиках пользователя. Это делает систему полезным инструментом в области маркетинга, персонализации рекламы и анализа целевой аудитории.

Проведённое тестирование подтвердило работоспособность системы и корректность логики классификации. Приложение успешно определяет тематическую

```
Выбрать файлы 31.jpg
• 31.jpg(image/jpeg) - 29195 bytes, last modified: 09.05.2025 - 100% done
Saving 31.jpg to 31.jpg
🚀 Запускаем YOLO...
Downloading https://github.com/ultralytics/assets/releases/download/v8.3.0/yolov8l.pt to 'yolov8l.pt'...
100%|██████████| 83.7M/83.7M [00:00<00:00, 203MB/s]

0: 640x448 1 car, 2941.0ms
Speed: 16.0ms preprocess, 2941.0ms inference, 35.2ms postprocess per image at shape (1, 3, 640, 448)
🧠 Обнаружено по объектам: ['авто']
```

Рис. 5. Пример вывода обнаруженных объектов

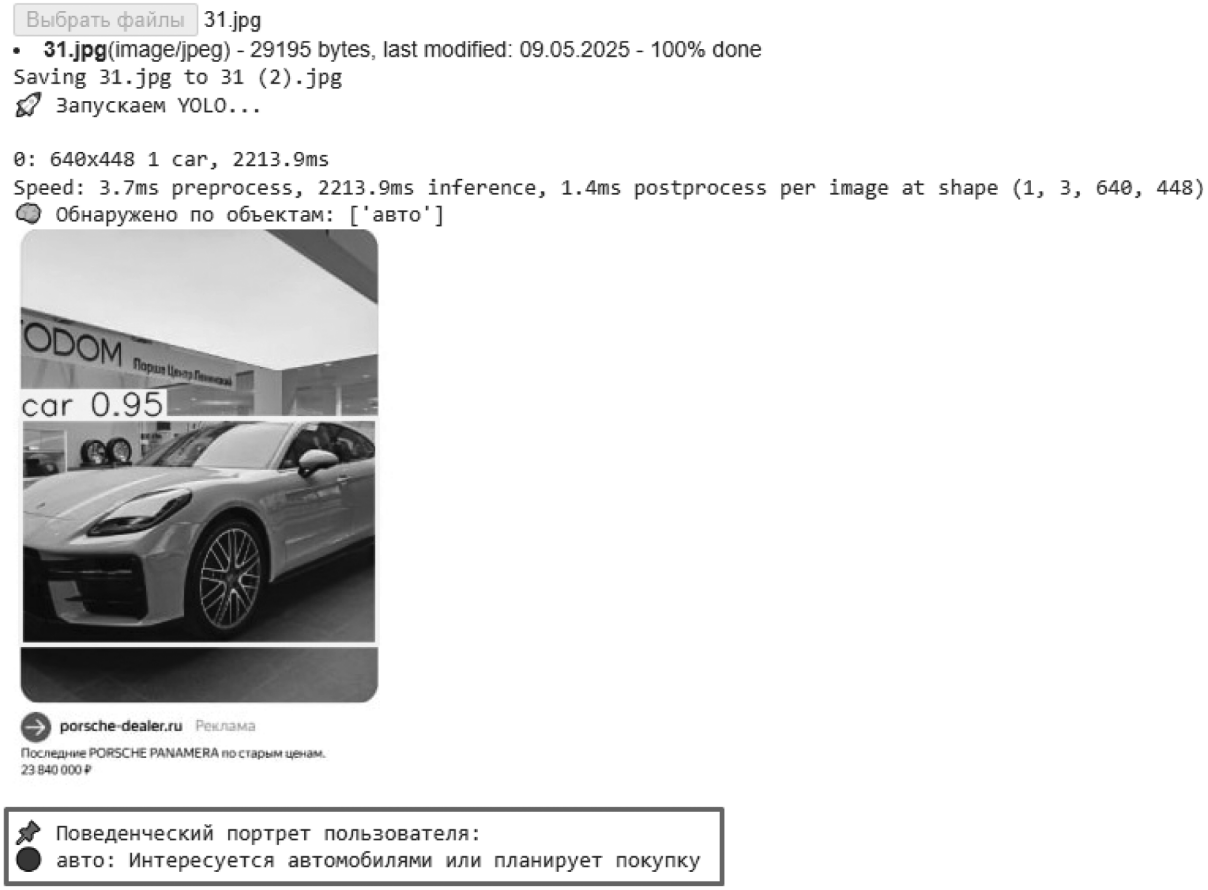


Рис. 7. Вывод поведенческого портрета пользователя

направленность баннеров, а также визуализирует результаты в удобной форме, предоставляя пользователю как текстовую интерпретацию, так и графическую аннотацию изображения.

В будущем система может быть дополнена новыми возможностями. Планируется добавить модуль, который будет распознавать и анализировать текст на рекламных баннерах, чтобы точнее определять тематику рекламы. Также возможно расширение набора категорий и улучшение точности распознавания объектов за счёт увеличения обучающей выборки. Система может быть адаптирована для обработки большого количества изображений сразу, что позволит использовать её в более широких прикладных задачах — например, в сфере маркетинга, анализа пользовательского поведения и цифровой аналитики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mojtaba Barari, Martin Eisend, Computational Content Analysis in Advertising Research URL: tandfonline.com/doi/full/10.1080/00913367.2024.2407642.
2. Guorui ZhouDeep, Chengru Song, Deep Interest Network for Click-Through Rate Prediction URL: arxiv.org/abs/1706.06978.
3. Wei Xiong, Ziyi Xiong, Tina Tian, Who to Show the Ad to? Behavioral Targeting in Internet Advertising (2021) URL: emerald.com/insight/content/doi/10.1108/jide-12-2021-0023/full/html.
4. Лукьяненко Н.А., Решетникова И.И. Маркетинговые технологии воздействия на поведение потребителей URL: cyberleninka.ru/article/n/marketingovye-tehnologii-vozdeystviya-na-povedenie-potrebiteley.
5. Anett Hoppe, Ana Roxin, Christophe Nicolle, Semantic User Profiling for Digital Advertising URL: researchgate.net/publication/282298108_Semantic_User_Profiling_for_Digital_Advertising.
6. Никитин Д.В., Тараненко И.С., Катаев А.В. Детектирование дорожных знаков на основе нейросетевой модели YOLO URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8531.
7. Angel Morera, Angel Sanchez, SSD vs. YOLO for Detection of Outdoor Urban Advertising Panels under Multiple Variabilities URL: mdpi.com/1424-8220/20/16/4587.
8. Michael Fire, Jonathan Schler, Exploring Online Ad Images Using a Deep Convolutional Neural Network Approach URL: arxiv.org/abs/1509.00568.
9. Tianxin Han, An Improved YOLO Model for Traffic Signs Small Target Image Detection URL: mdpi.com/2076-3417/13/15/8754.
10. Alexey Bochkovskiy, Chien-Yao Wang, Hong-Yuan Mark Liao, YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection URL: arxiv.org/abs/2004.10934.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.04

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПАСНОСТИ АВАРИИ ВОДОПРОВОДА

NEW APPROACHES TO HEART ORGANOMETRY

M. Bolshelapov
V. Pechenkin

Summary. The purpose of this article is to build a mathematical model for assessing the level of danger of accidents in water supply systems based on parameters characterizing the consequences of such events. The main variables are the number of victims of the accident and the population density in the affected area. The regression analysis method is used to achieve the goal. Before building the model, all parameters undergo a normalization procedure, which eliminates the impact of differences in measurement scales and ensures correct data processing. The normalized values of the variables are used as input variables of the regression model, which results in an assessment of the accident hazard level in the range from 0 to 1. The developed model allows quantifying emergency situations according to their potential hazard, taking into account the scale of impact and vulnerability of the population. This makes it possible to make informed decisions when managing the technical condition of water supply systems, planning preventive measures and promptly responding to incidents. As a conclusion, it is noted that the proposed model demonstrates stability and versatility and can be applied in decision support systems for assessing and predicting the consequences of accidents in the water supply infrastructure.

Keywords: regression analysis, mathematical modeling, data normalization, regression model, plumbing accidents.

Большелапов Михаил Александрович
аспирант, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
mihan3110@yandex.ru
Печенкин Виталий Владимирович
Доктор социологических наук, профессор, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
pechenkinvv@mail.ru

Аннотация. Целью настоящей статьи является построение математической модели для оценки уровня опасности возникающих аварий в водопроводных системах на основе параметров, характеризующих последствия таких событий. В качестве основных переменных рассматриваются число пострадавших в результате аварии и плотность населения на территории, подверженной воздействию. Для достижения цели используется метод регрессионного анализа. До построения модели все параметры проходят процедуру нормализации, что позволяет исключить влияние различий в масштабах измерения и обеспечивает корректную обработку данных. Нормализованные значения переменных используются в качестве входных переменных регрессионной модели, результатом которой является оценка уровня опасности аварии в диапазоне от 0 до 1. Разработанная модель позволяет количественно ранжировать аварийные ситуации по степени их потенциальной опасности, учитывая масштабы воздействия и уязвимость населения. Это даёт возможность принимать обоснованные решения при управлении техническим состоянием водопроводных систем, планировании профилактических мероприятий и оперативном реагировании на инциденты. В качестве вывода отмечается, что предложенная модель демонстрирует устойчивость и универсальность и может быть применена в системах поддержки принятия решений для оценки и прогнозирования последствий аварий в инфраструктуре водоснабжения.

Ключевые слова: регрессионный анализ, математическое моделирование, нормализация данных, модель регрессии, аварии водопровода.

Введение

Аварии в системах водоснабжения представляют собой серьёзную угрозу как с технической, так и с социальной точки зрения. Повреждение водопроводных сетей может вызывать перебои в подаче воды, затопление территорий, повреждение инфраструктуры, а в отдельных случаях — приводить к травмированию людей и созданию очагов санитарной опасности. Особенно остро эта проблема проявляется в условиях высокой плотности городской застройки, где последствия даже локальных инцидентов затрагивают значительное количество жителей и элементы критически важной инфраструктуры [1].

Современные подходы к управлению эксплуатацией инженерных систем требуют перехода от реактивных к проактивным стратегиям, основанным на анализе потенциальных рисков [2]. Однако на практике до сих пор не хватает универсальных и надёжных инструментов, позволяющих количественно оценивать уровень опасности аварий в водопроводных сетях на основе доступных данных. Это ограничивает возможности эффективного планирования профилактических мероприятий и оперативного реагирования.

Настоящее исследование направлено на разработку регрессионной модели, позволяющей количественно оценивать уровень опасности аварии водопровода

на основе нормализованных параметров: числа пострадавших и плотности населения. Разработанная модель формирует шкалу от 0 до 1 и может использоваться в системах поддержки принятия решений при управлении эксплуатацией и развитием объектов водоснабжения.

Материалы и методы

В качестве входных параметров для математической модели выбраны параметры:

*P*1 — число пострадавших в аварии водопровода
*P*2 — плотность населения в зоне аварии водопровода

В результате работы модели мы получаем переменную *R* — опасность аварии водопровода. Модель сразу определяем на множестве от 0 до 1, чтобы можно было в будущем использовать ее в других математических моделях, связанных с авариями водопровода, например, для оценки эффективности ликвидации аварии водопровода, или необходимости проведения аварийно-спасательных работ.

Для построения математической модели оценки уровня опасности аварии в системах водоснабжения был выбран метод логистической регрессии [3, 4], обоснованный следующими факторами:

— Характер выходной переменной — задача сводится к определению степени опасности аварии на непрерывной шкале в пределах от 0 до 1. Такая шкала, естественно, интерпретируется как вероятность высокого уровня опасности, что соответствует семантике логистической функции.
— Интерпретируемость модели — логистическая регрессия обеспечивает прозрачность и простоту анализа вклада каждого параметра (фактора риска), что важно при принятии инженерных решений в условиях ограниченной информации.
— Устойчивость к малому числу признаков — поскольку модель использует ограниченное количество входных параметров (*P*1 и *P*2), логистическая регрессия является предпочтительным вариантом по сравнению с более сложными нелинейными моделями, которые требуют большого объема обучающих данных.

Ниже приведена общая формула 1 для определения опасности аварии водопровода.

$$R_1 = \beta_0 + \beta_1 \cdot P1_{norm} + \beta_2 \cdot P2_{norm} \quad (1)$$

Для повышения корректности и устойчивости модели проведена предварительная нормализация входных параметров, с учётом их природы и диапазонов. А также были привлечены эксперты, при помощи которых были дополнительно введены и определены коэффициенты:

— Свободный член $\beta_0 = -1.5$ обеспечивает базовую вероятность опасности, когда значения входных параметров минимальны в своем диапазоне
— Коэффициент для нормализованной переменной *P*1 $\beta_1 = 4$ показывает скорость повышения уровня опасности в зависимости от числа пострадавших
— Коэффициент для нормализованной переменной *P*2 $\beta_2 = 1.2$ показывает скорость повышения уровня опасности при повышении плотности населения.

Переменная *P*1 нормализуется методом MinMax с обрезкой, где диапазон значений от 0 до 50 линейно масштабируется на интервал [0, 1], а все значения выше 50 приравниваются к 1. Это позволяет ограничить влияние выбросов при сохранении чувствительности модели к наиболее вероятным сценариям. Ниже формула 2 показывает нормализацию переменной на отрезке от 0 до 1. Также на рисунке 1 показан график нормализации.

$$P1_{norm} = \min\left(\frac{P1}{50}, 1\right) \quad (2)$$

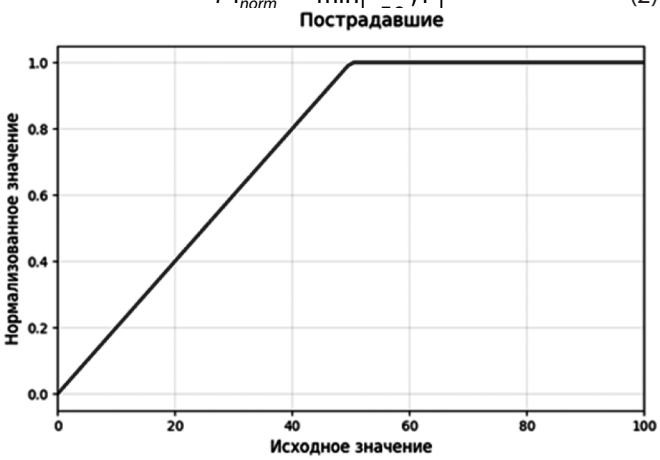


Рис. 1. График нормализации переменной *P*1

Переменная P2 преобразуется с помощью естественного логарифмирования, показанного на формуле 3.

$$P2_{norm} = \frac{\ln(P2) - \ln(100)}{\ln(15000) - \ln(100)} \quad (3)$$

Такое преобразование снижает влияние резких различий в плотности и обеспечивает более равномерное распределение значений. Ниже на рисунке 2 представлен график нормализации переменной [5].

Таким образом, предложенные методы нормализации позволяют адекватно подготовить данные для построения устойчивой и интерпретируемой регрессионной модели, отражающей вклад параметров последствий аварии в оценку её опасности.

Ниже представлена формула 4 с нормализованными переменными для оценки опасности аварии водопро-

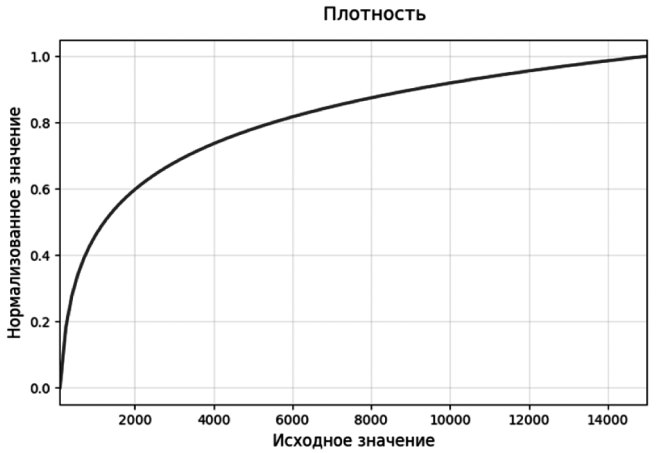


Рис. 2. График нормализации переменной *P*2

вода.

$$R_l = -1{,}5 + 4 \cdot \min\left(\frac{P1}{50}, 1\right) + 1{,}2 \cdot \frac{\ln(P2) - \ln(100)}{\ln(15000) - \ln(100)} \quad (4)$$

Однако результат выполнения работы модели может принимать значения меньше 0 и больше 1, особенно при критических значениях. Для удобства дальнейшего использования оценки опасности аварии водопровода дополнительно проведена нормализация итоговой переменной R на отрезке от 0 до 1 при помощи метода MinMax, итоговая формула 5 представлена ниже.

$$R = \min\left(\max\left(\begin{array}{l} -1{,}5 + 4 \cdot \min\left(\frac{P1}{50}, 1\right) + \\ +1{,}2 \cdot \frac{\ln(P2) - \ln(100)}{\ln(15000) - \ln(100)}, 0 \end{array}\right), 1\right) \quad (5)$$

Литературный обзор

Проблема оценки рисков аварийных ситуаций в системах водоснабжения остаётся актуальной в связи с износом инженерной инфраструктуры, ростом плотности населения в городах и увеличением нагрузки на коммунальные сети. В последние годы всё более широкое распространение получают методы математического моделирования и машинного обучения, позволяющие формализовать процесс оценки риска и принимать обоснованные управленческие решения. Одним из наиболее востребованных методов в этой области является логистическая регрессия, обладающая высокой интерпретируемостью и применимостью к бинарным классификационным задачам. Ниже рассмотрены современные научные работы, демонстрирующие применение логистической регрессии, методов нормализации и сопоставимых моделей в задачах водоснабжения и анализа техногенных рисков.

Работа Карадирек и его коллеги [6] исследует причины отказов водопроводных труб в городской сети Турции и применяет логистическую регрессию для предсказания вероятности отказа трубопровода на основе эксплуатационных характеристик: возраста трубы, материала и диаметра. Модель позволила установить, что вероятность выхода из строя труб увеличивается экспоненциально при достижении определённого возраста, особенно в районах с высокой плотностью населения. Это подчёркивает обоснованность выбора логистической регрессии для оценки бинарных событий в водопроводных системах

В задачах, где параметры имеют различные физические измерения и масштаб (например, число пострадавших и плотность населения), важным этапом является нормализация данных. Рахбаралам с коллегами [7] в своём обзоре подчёркивают, что без предварительной обработки данных эффективность логистической регрессии существенно снижается. Методы нормализации, такие как MinMax и логарифмическое преобразование, позволяют улучшить сходимость модели и исключить доминирование одного параметра над другим при обучении

Исследование Цанг и коллеги [8] демонстрирует применение логистической регрессии для оценки риска наводнений и адаптации инфраструктуры к экстремальным ситуациям. Хотя работа сосредоточена на природных катастрофах, её выводы применимы и к авариям в коммунальных системах. Авторы отмечают, что интеграция прогнозных моделей в системы поддержки принятия решений позволяет повысить скорость и обоснованность реакций городских служб

Результаты

В результате проведённого исследования была разработана регрессионная модель для количественной оценки уровня опасности аварии в системах водоснабжения. В качестве итоговой модели принята логистическая функция.

Модель учитывает два ключевых параметра: число пострадавших и плотность населения, которые предварительно нормализуются различными методами. Для переменной *P*1 используется нормализация методом MinMax с верхней границей 50, что позволяет ограничить влияние выбросов. Для переменной *P*2 применяется логарифмическое преобразование, обеспечивающее стабилизацию масштабов при резких колебаниях плотности населения.

Формула обеспечивает непрерывную шкалу оценки опасности и может использоваться для классификации и ранжирования аварий по степени риска. Предложенная модель проста в реализации, устойчива к разнородности данных и пригодна для применения в автоматизированных системах поддержки принятия решений при управлении инженерной инфраструктурой.

Модель была проверена на корректность при помощи моделирования ситуаций [9], результаты проверки модели представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты работы модели

P1 (число пострадавших)	P2 (плотность населения, чел/км^2)	R (оценка опасности)
0	100	0.000
10	500	0.254
25	2000	0.774
50	5000	0.998
70	10000	1.000
35	15000	0.960

Результаты работы были представлены экспертам и признаны корректной.

Обсуждение

Разработанная модель логистической регрессии для оценки уровня опасности аварий водопровода позволяет формализовать влияние двух ключевых факторов — числа пострадавших (*P*1) и плотности населения (*P*2) — на опасность аварийной ситуации. Предварительная нормализация параметров обеспечила их приведение к единой шкале и корректную работу модели при варьировании входных данных.

Результаты модели соответствуют ожидаемой логике: при росте плотности населения и числа пострадавших уровень опасности увеличивается. Это подтверждает внутреннюю согласованность и корректность построенного регрессионного представления.

Практическое применение модели может включать:

— экспресс-оценку уровня риска при авариях для оперативных служб;
— ранжирование территорий по потенциальной уязвимости;
— интеграцию в системы поддержки принятия решений в жилищно-коммунальном и городском управлении.

Для повышения точности и устойчивости модели в будущем целесообразно:

— расширить перечень входных параметров (например, учитывать тип инфраструктуры, время ликвидации, сезонность), на основе Правил технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации [10];
— использовать эмпирические данные для уточнения коэффициентов;
— реализовать автоматизированную систему оценки с визуализацией зон риска на карте.

Таким образом, предложенная модель представляет собой основу для прикладных решений в области анализа и управления техногенными рисками в городских водопроводных системах и может быть усовершенствована в рамках последующих этапов исследования.

Заключение

В статье представлена методика количественной оценки уровня опасности аварии водопроводной сети на основе логистической регрессионной модели с использованием параметров числа пострадавших (*P*1) и плотности населения (*P*2). Проведено теоретическое обоснование выбора логистической регрессии как статистически надёжного инструмента анализа вероятностных характеристик событий с дискретным исходом. Для обеспечения корректности сравнительного анализа разнородных по размерности и шкале параметров применены методы нормализации: MinMax-масштабирование с верхней границей для *P*1 и логарифмическое преобразование для *P*2.

Полученная модель позволяет рассчитывать интегральную оценку степени опасности аварийной ситуации в диапазоне [0; 1], отражающую совокупное влияние ключевых социально-демографических факторов. Результаты демонстрируют возможность использования разработанного подхода для предварительной оценки риска и последующего ранжирования аварий по степени потенциальной угрозы.

В дальнейшем целесообразно расширить модель за счёт включения дополнительных технико-эксплуатационных параметров, а также провести валидацию на основе эмпирических данных аварий, зарегистрированных в водопроводных сетях различных регионов. Это позволит повысить точность прогноза и адаптировать модель к условиям конкретных территориальных и инфраструктурных особенностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большелапов М.А., Бровко А.В. Создание математической модели управления процессом ликвидации коммунальных аварий с прорывом водопровода. // Материалы XIX Международной научно-практической конференции. Саратов, 2023. с. 608–612.
2. Козлов С.В., Козлова И.В. Проактивное обслуживание в сфере ЖКХ как тренд технологического развития // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2020. — № 4 (68). — С. 45–50.
3. Плотников А.С., Щербакова А.А. Применение методов логистической регрессии для оценки риска отказа инженерных систем // Наука и образование: новое время. — 2021. — № 3(64). — С. 112–118.
4. Тихонов А.А., Беляев И.С. Анализ аварийности объектов коммунальной инфраструктуры с использованием методов машинного обучения // Вестник Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2022. — № 2(32). — С. 84–91.
5. О.В. Веселов. Нечеткая логика и нейронные сети в системах управления и диагностике: учеб. пособие//Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир: Изд-во ВлГУ, 2023, 288 с. — ISBN 978-5-9984-1641-5.
6. Karadirek I., Yilmaz G., Demir A. A study on pipe failure analysis in water distribution systems using logistic regression // Water Supply. — 2024. — Vol. 24, No. 1. — P. 176–191. — DOI: 10.2166/ws.2023.255.
7. Rahbaralam M., Guan Y., Berglund E. Z. A review of predictive analytics in urban water infrastructure management using machine learning techniques // Environmental Systems Research. — 2023. — Vol. 12, No. 1. — Article 7. — DOI: 10.1186/s40068-023-00287-7.
8. Zhang L., Wang Y., Zhang Y. Assessment of flood risk using logistic regression model in mountain regions: a case study in China // Journal of Flood Risk Management. — 2021. — Vol. 14, No. 4. — Article e12703. — DOI: 10.1111/jfr3.12703.
9. Белоусов Р.А. Ситуационное моделирование в образовательной среде // Труды Московского городского педагогического университета. — 2024. — № 1. — С. 1–6. DOI: 10.17805/trudy.2024.1.1.
10. Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации: утверждены Приказом Минстроя России от 19.11.2020 № 711/пр. — М.: Минстрой России, 2020. — С. 42–45.

DOI 10.37882/2223–2966.2025.06-3.06

СПЕКТРАЛЬНО-ФИНИТНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ АПРИОРНОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ НЕВЫХОДА НАВИГАЦИОННОГО ПАРАМЕТРА (УГЛА АТАКИ) ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЗА ПРЕДЕЛЫ ПОЛЯ ДОПУСКА НА ЗАДАННОМ ИНТЕРВАЛЕ ВРЕМЕНИ

SPECTRAL-FINITE METHOD OF THE RELIABILITY OF A NAVIGATION PARAMETR OF AN AIRCRAFT (ANGEL OF ATTACK) NOT LEAVING THE TOLERANCE ZONE IN A CERTAIN PERIOD OF TIME

E. Vinogradova
Yu. Ivanov

Summary. The article evaluates a spectral-finite method of the reliability of a navigation parameter, in this case, the angle of attack, of an aircraft not leaving the tolerance zone over a finite time interval. Based on the simulation results, dependences of estimates of the reliability of the forecast of the considered signals on the normalized values of the tolerance field and the prediction time interval were obtained, and the results were analyzed. The study is performed both against the background of interference and without taking it into account.

Keywords: spectral-finite method of forecast; reliability of a navigation parameter not exceeding the tolerance zone; a priori reliability; Karhunen-Loeve transformation.

Виноградова Екатерина Денисовна
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
vinogradovae415@gmail.com
Иванов Юрий Павлович
кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
ypi35@mail.ru

Аннотация. В работе исследуется спектрально-финитный метод оценки достоверности невыхода навигационного параметра, в данном случае — угла атаки, летательного аппарата за пределы поля допуска на финитном интервале времени. По результатам моделирования получены зависимости оценок достоверности прогноза рассматриваемых сигналов от нормированных значений поля допуска и интервала времени прогнозирования, проведён анализ полученных результатов. Исследование проводится как на фоне помех, так и без их учета.

Ключевые слова: спектрально-финитный метод прогнозирования; оценка достоверности невыхода навигационного сигнала за пределы поля допуска; априорная достоверность; разложение Карунена-Лоэва.

Введение

В современном мире прогноз навигационных сигналов часто связан с жизнеобеспечением летательного аппарата (ЛА). Умение предсказать информационноизмерительной системой (ИИС) аварийную ситуацию, например, вероятность выхода воздушного судна на закритические углы атаки, позволяет предупредить пилота об опасности и дать ему возможность принятия определенных действий для предотвращения сваливания самолета, а в худшем случае, и его попадания в штопор.

В данной работе достоверность определена вероятностью того, что рассматриваемый навигационный параметр (угол атаки) на выбранном временном интервале ни разу не выйдет за пределы поля допуска.

Оценка достоверности прогноза позволяет на основе полученных данных еще на этапе проектирования скорректировать аэродинамические характеристики воздушного судна и определить требования к информационно-измерительным приборам так, чтобы снизить любые риски возможности выхода самолета на закритические углы атаки.

Спектральный метод оценки достоверности актуален не только в авиационной сфере, задача охватывает многие не менее важные области: алгоритм может быть использован в медицине для оценки прогноза состояния больного и рисков развития заболеваний, в экономической сфере для прогнозирования закономерностей и тенденций финансовых рынков, для выявления погодных и климатических изменений, мониторинга эпидемиологической ситуации, прогнозирования протекания ядерных процессов и т. д.

Классический метод оценки вероятности того, что рассматриваемый навигационный параметр на выбранном интервале времени ни разу не выйдет за пределы

заданной области значений, основан на решении уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова (ФПК), что является достаточно трудоемкой задачей [1]. К недостаткам данного алгоритма относятся требование наличия свойства марковости оцениваемого случайного процесса и необходимость определения регулярных участков для граничных областей. Важно отметить, что аналитическое решение уравнения ФПК на сегодняшнее время получено только для марковских нормальных стационарных процессов не выше второго порядка при независящих от времени допустимых границах и при условии, что в начальный момент известны значение исследуемого процесса и его закон распределения, что существенно снижает универсальность данного метода [2]. Стоит учитывать, что задача оценки достоверности прогноза случайного процесса, рассматриваемого на фоне помех, для метода ФПК в настоящий момент не имеет аналитического решения даже для марковских процессов.

В представленной работе рассматривается альтернативный универсальный и более простой метод решения поставленного вопроса на основе разложения Карунена-Лоэва, который убирает ограничения на независимость допустимых границ от времени, не предполагает обязательного наличия свойства марковости и стационарности у оцениваемого случайного процесса и применим при различных начальных условиях. Единственным ограничением для данного метода является то, что случайный процесс должен быть гауссовским, что не является существенным недостатком, так как большинство реальных физических процессов вполне адекватно могут быть описаны нормальными законами распределения, а для линейной модели измерения при симметричной функции потерь для принимаемых решений распределение по нормальному закону позволяет получить оценки, являющиеся оценками снизу [3]. Преимущества спектрально-финитного алгоритма заключаются в том, что из всех рядов Фурье разложение Карунена-Лоэва обладает наилучшей в среднеквадратическом сходимостью, при этом коэффициенты ряда КаруненаЛоэва являются некоррелированными, а с учетом нормального закона распределения случайного процесса, и независимыми случайными величинами [4]. Применение спектральной модели сигналов в задачах анализа и синтеза информационно-измерительных систем значительно упрощает вычислительные процессы при обработке информации и делает более обширным класс задач, решаемых классическими методами. Это становится возможным вследствие того, что спектральные компоненты C_k разложения Карунена-Лоэва для рассматриваемого при моделировании алгоритмов стационарного сигнала не изменяются на выбранном интервале времени, что позволяет преобразовать случайный процесс, описываемый достаточно сложной моделью $X(t)$, в случайную величину с переходом к квазидетерминированной модели сигнала в виде разложения в ряд.

В данной статье рассматриваются априорная достоверность невыхода значения угла атаки ЛА за область допустимых значений как на фоне помехи, так и без ее учета. Важно отметить уникальность приведенного алгоритма, которая заключается в возможности прогнозирования на фоне помехи, что не позволяют сделать известные традиционные методы оценки достоверности прогноза.

Описание математического метода

Рассматривается скалярный гауссовский, в общем случае нестационарный, немарковский случайный процесс $X(t)$ с нулевым математическим ожиданием $M[X(t)] = 0$ с известной корреляционной функцией, заданный на интервале времени $[0, T]$, где T — интервал прогнозирования случайного процесса, для непрерывного процесса на фиксированном интервале времени. Погрешность измерения и полезный сигнал взаимно некоррелированы.

Будем предполагать, что наблюдаемый линейный непрерывный процесс $Y(t)$ на заданном временном отрезке $[0, T]$ определяется следующим соотношением:

$$Y(t) = X(t) + H(t),\ 0 \le t \le T, \tag{1}$$

где $X(t)$ — скалярный гауссовский временной ряд, определяющий полезный сигнал, принимаемый на фоне аддитивных, в общем случае, произвольных коррелированных помех $H(t)$. Моделью помехи $H(t)$ измерения сигнала является случайный произвольный временной ряд, математическое ожидание которого $M[H(t)]=0$.

В данной статье в качестве моделей сигналов применяется полный ортонормальный базис $\{\varphi_k,\ k = 1,\ldots,\infty\}$ Карунена-Лоэва, который определяется нахождением собственных функций при решении интегрального уравнения [5]:

$$\int_0^T K_x(\lambda,\tau)\varphi_k(\tau)d\tau = \lambda_k\varphi_k(\lambda),\ 0 \le \tau \le T,, \tag{2}$$

где $\{\lambda_k,\ k = 1,\ldots,\infty\}$ — собственные числа интегрального уравнения, определяющие дисперсии коэффициентов разложения случайного стационарного процесса, корреляционная функция которого совпадает с ядром интегрального уравнения и определяется следующим образом:

$$K_X(\tau) = \sigma^2 \cdot e^{-\alpha|\tau|} \tag{3}$$

где σ — среднеквадратическое отклонение полезного сигнала (значения угла атаки);

α – параметр корреляционной функции.

Переход из временного представления случайного процесса в спектральное основывается на разложении случайного сигнала на финитном интервале времени в виде частичной суммы ряда КаруненаЛоэва, являющегося частным случаем ряда Фурье. Представление случайного процесса рядом Фурье осуществляется в следующем виде:

$$x(t) \approx \sum_{k=1}^{N} C_k \Psi_k(T), \tag{4}$$

где $\Psi_k(T)$ — ортонормированный полный базис Карунена-Лоэва.

Коэффициенты разложения определяются по формуле:

$$C_k = \int_0^T x(t)\Psi_k(\tau)d\tau, \tag{5}$$

где C_k — спектральная компонента представления случайного процесса.

Ортонормированные базисные функции разложения Карунена-Лоэва оцениваемого случайного процесса в соответствии с корреляционной функцией (3) определяются путем решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода [6] следующим образом:

$$\Psi_k(\tau) = \frac{\sigma}{\sqrt{\lambda_k}}\sqrt{\frac{2}{1+\frac{1}{d_k}}}\sin\left[\omega_k\left(\tau - \frac{T}{2}\right) + k\frac{\pi}{2}\right],\ k = \overline{1,N}, \tag{6}$$

где собственные значения интегрального уравнения Фредгольма второго рода λ_k и нормированные дисперсии коэффициенты разложения Карунена–Лоэва d_k определяются из выражений:

$$\lambda_k = \frac{2(\alpha_x T)\sigma_x^2 T}{(\alpha_x T)^2 + (\omega_k T)^2}, \tag{7}$$

$$d_k = \frac{\lambda_k}{\sigma_x^2 T}, \tag{8}$$

а ω_k, k=1,…,∞ — положительные корни, расположенные в порядке возрастания, следующего уравнения:

$$tg\omega_k T = -\frac{2\alpha_x T\omega_k T}{(\alpha_x T)^2 - (\omega_k T)^2}. \tag{9}$$

Коэффициенты разложения Карунена–Лоэва являются ортогональными случайными величинами. Наиболее значимым является первый коэффициент, так как в нем содержится большая часть энергии сигнала, а каждый следующий коэффициент дает точность прогноза лишь на десятые и сотые доли ввиду применения разложения Карунена-Лоэва. На рисунке 1 представлено распределение энергии сигнала по компонентам. Из графика видно, что наибольшей информативностью обладает первая компонента, которая вносит самый существенный вклад в обеспечение требуемой точности оценки достоверности прогноза, поэтому моделирование алгоритмов оценки достоверности прогноза было выполнено с учетом одной спектральной компоненты.

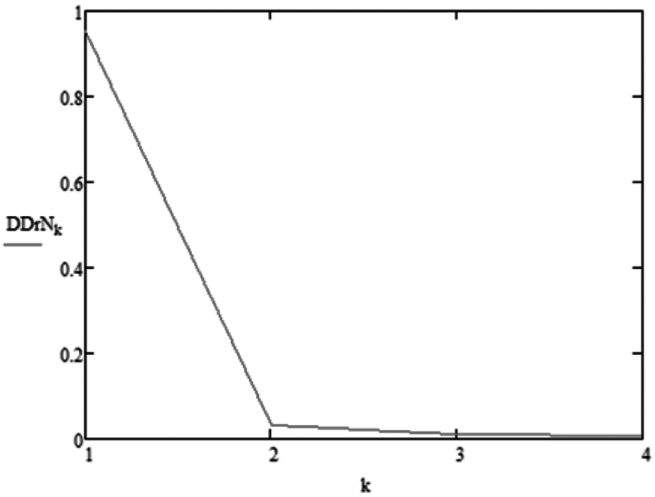


Рис. 1. Распределение энергии сигнала по спектральным компонентам

Для удобства и простоты вычислений вводится понятие нормированных коэффициентов $C_{нk} = C_k / \sqrt{\lambda_k}$.

Нормированные значения, в общем случае, нестационарного процесса $X_н^N(t-\tau)$ и допустимых границ определяются следующими значениями [7]:

$$X_н^N(t-\tau) = \frac{X(t-\tau)}{\sigma_x(t-\tau)}, \tag{10}$$

$$A_{B_н}(t-\tau) = \frac{A_B(t-\tau)}{\sigma_x(t-\tau)},\ A_{H_н}(t-\tau) = \frac{A_H(t-\tau)}{\sigma_x(t-\tau)}, \tag{11}$$

где σ_X(t–τ) — среднеквадратическое отклонение процесса X(t–τ).

Для определения границ области g_0^N необходимо найти допустимые значения $B_{Внk}$, $B_{Ннk}$ коэффициентов $C_{нk}$, $k = \overline{1,N}$ T из следующей системы соотношений:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^{N} C_{нŒ}\sqrt{\frac{2}{1+\frac{1}{d_k}}}\sin\left[\omega_k\left(t-\frac{T}{2}\right)+\frac{k\pi}{2}\right] \le k(T)A_{B_н}, \\ \sum_{k=1}^{N} C_{нк}\sqrt{\frac{2}{1+\frac{1}{d_k}}}\sin\left[\omega_k\left(t-\frac{T}{2}\right)+\frac{k\pi}{2}\right] \ge k(T)A_{Н_н}, \end{cases} \tag{12}$$

где $k(t)$ — коэффициент, учитывающий заданную относительную точность приближения случайного процесса $X(t)$ частичной суммой.

Область допустимых значений спектральных компонент СНk будет варьироваться в зависимости от их

количества и представлять собой разномерные пространства: для одной компоненты область допустимых значений будет образовывать прямоугольник, для двух компонент — ромб. Если в исследуемой задаче учесть три компоненты $C_{нk}$ k=1,…,3 вектора коэффициентов разложения случайного процесса $X(t)$ в ряд Карунена-Лоэва, то область допустимых значений будет близка к гексаэдру и при увеличении N из рассматриваемых областей аппроксимации наиболее близкими к допустимой области g_0^N будут N-мерные ромбы [8]. Используемая размерность k допустимой области спектрального преобразования сигнала $X(t)$ g_0^N определяется требуемой точностью оценки достоверности и зависит от вероятностных характеристик полезного сигнала, от времени наблюдения и прогнозирования сигналов.

Оценку допустимой нормированной ошибки среднеквадратического приближения случайного процесса $X(t)$ частичной суммой (4) можно определить из следующего неравенства [9]:

$$1 - R^2 \le 1 - \sum_{k=1}^{N} d_k, \qquad (13)$$

где R^2 — заданная относительная точность приближения случайного процесса $X(t)$ частичной суммой разложения в ряд Карунена-Лоэва.

Для оценки достоверности прогнозирования по одной компоненте необходимо найти вероятность попадания первой спектральной компоненты C_1 в заданную область допустимых значений. На рисунке 2 показан график прямоугольной области допустимых значений для одной спектральной компоненты C_1 и выбросов реализации.

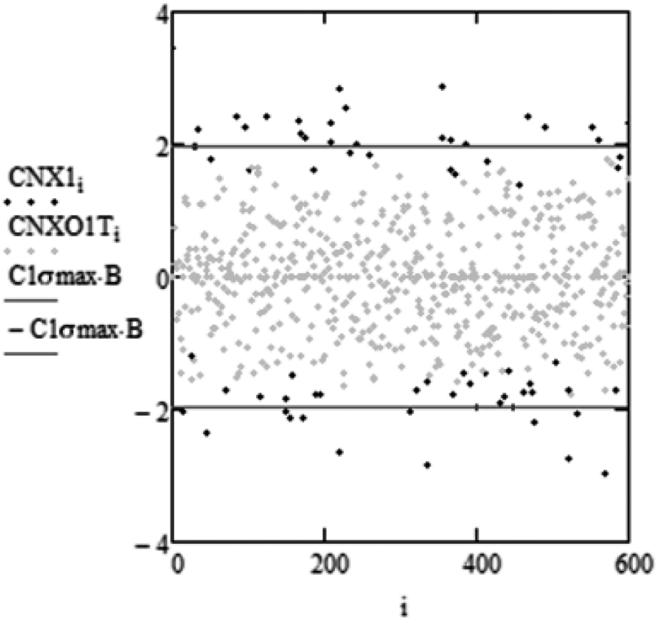


Рис. 2. График области допустимых значений коэффициента C_1 и выбросов реализации

Плотность вероятности нормального закона распределения первой спектральной компоненты определяется следующим образом:

$$f_1\left[C_H(t)\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{\lambda}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{C_1(t)-m_C}{\lambda}\right)^2}, \qquad (14)$$

где λ — дисперсия первой спектральной компоненты $C_1(t)$,

m_c — математическое ожидание компоненты, равное нулю.

В случае нормального распределения случайного нестационарного процесса совместная плотность распределения N первых нормированных спектральных компонент будет определяться как произведение плотностей вероятности по каждой компоненте [10]:

$$f\left[c_н(t)\right] = \prod_{k=1}^{N} f_k\left[c_{нk}(t)\right], \qquad (15)$$

где $f_k\left[c_{нk}(t)\right] = N[0,1]$ — плотность стандартного нормального распределения, имеющее нулевое математическое ожидание и единичное среднеквадратическое значение, определяемая по формуле (14), $C_н(t)$ — вектор, определяемый коэффициентами $C_{нk}(t)$, $k = \overline{1,N}$.

Оценка априорной достоверности прогноза для нормального распределения имеет вид:

$$\hat{D}_0(t,T) = \int_{g_0^N(t,T)} f\left[C_н(t)\right] dC_н(t), \qquad (16)$$

где $g_0^N(t,T)$ — N-мерная область допустимых значений нормированных коэффициентов $C_{нk}(t)$, нахождение в которой вектора $C_н(t)$ соответствует невыходу нормированного случайного процесса $X^N(t-\tau)$ в течение интервала времени $\tau \in T$ за пределы нормированных границ.

Прогнозирование по результатам измерения $Y(t)$ позволяет выполнить полный анализ оценки полезного сигнала при условии наблюдения на фоне помехи. В этом случае оценка достоверности прогнозирования представляет собой усредненную оценку по результатам всех полученных измерений на интервале времени [0, T].

Анализ результатов моделирования

Моделирование алгоритмов оценки априорной достоверности прогноза было проведено в среде MathCAD 15 при следующих исходных данных: отношение среднеквадратических значений сигнала и помехи σ_x/σ_h = 0.1, отношение поля допуска к среднеквадратическому значению сигнала g_0/σ_x = 2, размерность корреляционной матрицы: n = 5, значение дискрета Δ = 4 с, параметр

корреляционной функции сигнала α = 0.01 1/с., время прогнозирования полета ЛА: ТТ = n×Δ = 20 с, нормированное значение математического ожидания сигнала m_x/σ_x=0, объём выборки для статистических оценок исследуемых характеристик NN=600, нормированное значение результата наблюдения y_0/σ_x=0.

Полученные результаты моделирования приведены на рисунках 3–7.

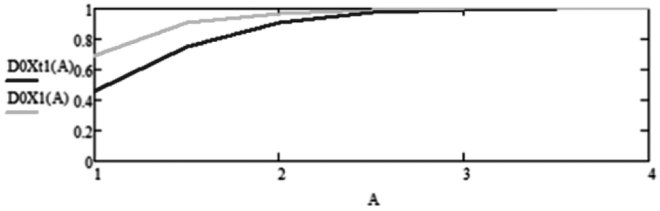


Рис. 3. График зависимости теоретической (D0Xt1) и статистической (D0X1) достоверности нахождения полезного сигнала в поле допуска от изменения поля допуска А для одной компоненты

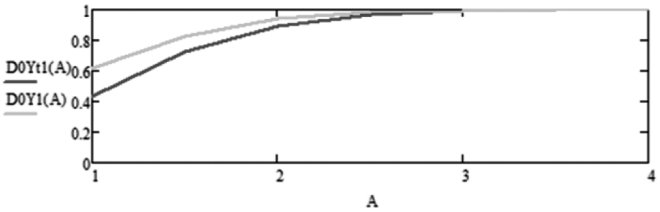


Рис. 4. График зависимости теоретической (D0Yt1) и статистической (D0Y1) достоверности нахождения сигнала на фоне помехи в поле допуска от изменения поля допуска А для одной компоненты

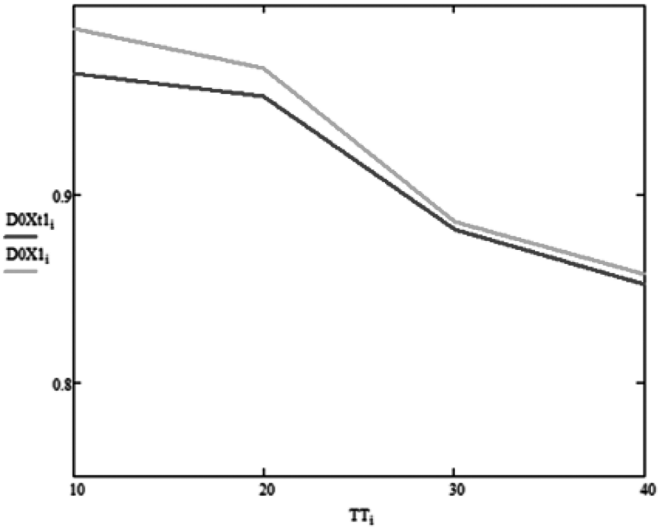


Рис. 5. График зависимости теоретической (D0Xt1) и статистической (DOX1) достоверности нахождения полезного сигнала в поле допуска от изменения интервала времени прогноза ТТ для одной компоненты

Из графиков на рисунках 3, 4 видно, что с ростом значения допустимых границ априорная достоверность нахождения сигнала в заданных пределах как без учета помехи, так и с ее учетом монотонно увеличивается и асимптотически стремится к 1, поскольку при увеличении порога область допустимых значений расширяется и, следовательно, большее количество реализаций попадает в поле допуска.

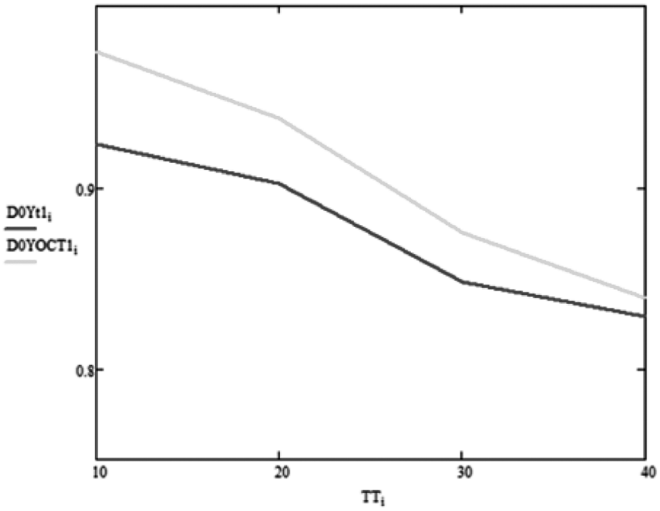


Рис. 6. График зависимости теоретической (D0Yt1) и статистической (D0YOCT1) достоверности нахождения сигнала на фоне помехи в поле допуска от изменения интервала времени прогноза ТТ для одной компоненты

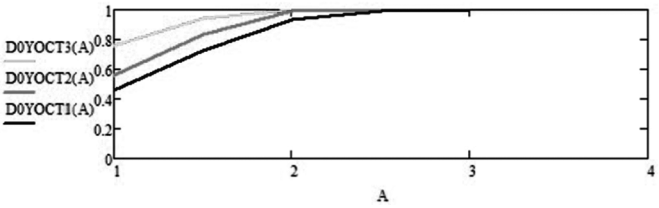


Рис. 7. График зависимости статистических достоверностей нахождения сигнала на фоне помехи в поле допуска от изменения поля допуска А для одной (D0YOCT1), двух (D0YOCT2) и трех компонент (D0YOCT3)

Из рисунков 5, 6 следует, что с ростом интервала времени прогнозирования априорная достоверность нахождения полезного сигнала в поле допуска как на фоне помехи, так и без учета помехи, уменьшается. Полученные результаты моделирования показали, что с приемлемой для практического применения точностью оценки в пределах 0.01–0.1 % для наиболее часто встречающихся нормированных полей допусков А = 2–4 можно ограничиться одномерной областью допустимых значений при прогнозе на интервал времени, не превышающий 20–30 секунд. При прогнозировании на более длительный временной интервал необходимо учитывать две-три спектральные компоненты, так как, согласно рисунку 7, значение оценки достоверности увеличивается с ростом количества используемых компонент.

Из сравнения рисунков 3, 4 можно сделать вывод, что значения априорной оценки достоверности нахожде-

ния полезного сигнала в поле допуска без учета помехи превосходят значения достоверности прогнозирования на фоне помехи. Анализ полученных данных показывает, что достоверность априорного прогноза по полезному сигналу при использовании одной компоненты составляет 96,7 % при величине порога A = 2 и времени прогноза TT = 20 с, а достоверность априорного прогноза на фоне помехи для тех же условий составляет 93,8 % при использовании одной спектральной компоненты. Вероятность невыхода угла атаки за пределы поля допуска при прогнозе сигнала с учетом помехи по непрерывному базису на интервал времени TT = 20 с и значении нормированного поля допуска A = 2 с учетом двух и трех спектральных компонент составляет 99,1 % и 99,7 % соответственно.

На рисунках 8, 9 приведены графики зависимости ошибок статистической и теоретической достоверности от значения нормированного поля допуска.

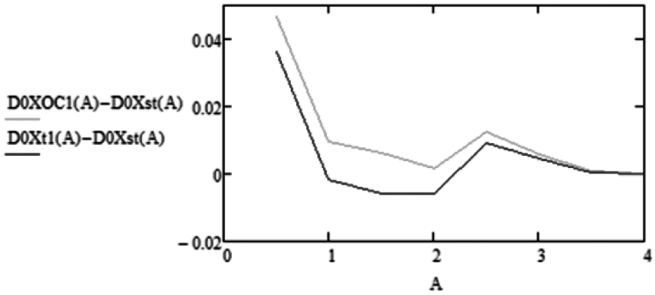


Рис. 8. График зависимости ошибок теоретической (D0Xt1) и статистической (D0XOC1) достоверности нахождения полезного сигнала в поле допуска от изменения поля допуска A для одной компоненты

Анализируя полученные графики зависимостей ошибок теоретических и статистических достоверностей нахождения полезного сигнала в поле допуска от изменения нормированного поля допуска A (рисунок 8), можно сформулировать вывод, что при величине порога A = 2 и времени прогноза TT = 20 с ошибка оценки

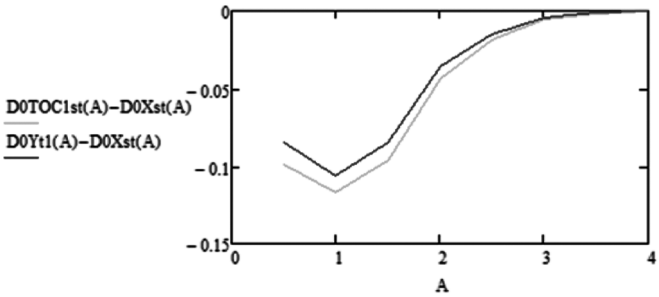


Рис. 9. График зависимости ошибок теоретической (D0Yt1) и статистической (D0Y1) достоверности нахождения сигнала на фоне помехи в поле допуска от изменения поля допуска A для одной компоненты

как теоретической, так и статистической достоверности крайне мала и не превышает 5 %. Это говорит о том, что приведенные ошибки слабо влияют на оценку достоверности прогнозирования, что позволяет судить об устойчивости представленного метода к изменению поля допуска A.

Заключение

В работе исследован спектрально-финитный метод априорной оценки достоверности невыхода навигационного параметра за допустимые границы на финитном интервале времени на фоне помехи и без ее учета. Анализ полученных при моделировании данных показывает, что рассматриваемый подход обеспечивает приемлемую оценку достоверности прогнозирования с использованием только одной спектральной компоненты для нормированной величины порога A = 2 при прогнозе на интервал времени, не превышающий 20–30 с. Представленный метод является не только универсальным по отношению к используемым моделям измерения и простым в реализации, но и позволяет осуществлять прогноз на фоне помехи, что делает его уникальным алгоритмом оценки достоверности прогнозирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. М.: Наука Физматгиз, 1968.
2. Тихонов В. И., Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учебное пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 2004. — 608 с.
3. Иванов Ю. П. Исследование метода оценки апостериорной достоверности невыхода навигационного сигнала за пределы поля допуска на основе дискретного спектрально-финитного метода. Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: Пятая Международная научная конференция. — 04–20 апреля 2024 г. — с. 71–78.
4. Иванов Ю. П., Бирюков Б. Л. Информационно-статистическая теория измерений. Модели сигналов и анализ точности систем: учебное пособие. СПб.: ГУАП, 2008. 160 с.
5. Пугачев В. С. Теория случайных функций. М.: Физматгиз, 1962.
6. Френкс Л. Теория сигналов. М.: Советское радио, 1978.
7. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. 1. М.: Советское радио, 1972.
8. Иванов Ю. П. Оценка достоверности прогноза случайного процесса на финитном интервале времени. Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: Первая Международная научная конференция. — 14–22 апреля 2020 г. — с.30–35.

9. Чернов В.Ю., Никитин В.Г., Иванов. Ю.П. Надежность авиационных приборов и измерительно-вычислительных комплексов: учебное пособие. СПБ.: ГУАП, 2004. 96 с.
10. Иванов Ю.П. Оценка достоверности прогноза случайного процесса на финитном интервале времени. АЭРОКОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. Первая Международная научная конференция 14–22 апреля 2020 г.с. 30–35.
11. Иванов Ю.П. Метод оценки апостериорной достоверности прогноза принимаемых решений Сборник трудов V научно-практической конференции РАРАН "Радиоэлектронное и ракетное вооружение ВВМ: взгляд в будущее".18 июня 2020 с.54–68.
12. Иванов Ю.П. Метод оценки апостериорной достоверности прогноза принимаемых решений Сборник трудов V научно-практической конференции РАРАН "Радиоэлектронное и ракетное вооружение ВВМ: взгляд в будущее".18 июня 2020 с.54–68.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.08

ЭРГОНОМИЧНОСТЬ КЛАВИАТУРЫ КАК ПРОЕКТНОЕ РЕШЕНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

ERGONOMICS OF THE KEYBOARD AS A DESIGN SOLUTION IN THE DEVELOPMENT OF CONTROLS FOR AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM

B. Goryachkin
P. Leyba

Summary. *Problem statement*. The problem of keyboard layout ergonomics is currently very relevant. The standard QWERTY layout, inherited from mechanical typewriters, does not take into account modern requirements for typing comfort and efficiency.
Goal. To develop an algorithm for optimizing keyboard layouts taking into account metrics reflecting ergonomic criteria and to synthesize an optimized layout for the English language on its basis.
Results. Metrics for evaluating the convenience of layouts are proposed and an algorithm for their optimization is described. Using this algorithm, a new, ergonomically optimized layout for the English language is obtained.
Practical significance. The developed metrics and algorithm can be used to create and evaluate keyboard layouts aimed at improving the convenience and productivity of typing. The proposed optimized layout can reduce the load on the user's fingers and hands and increase typing efficiency.

Keywords: keyboard layout, ergonomics, optimization, automated information system.

Горячкин Борис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
bsgor@mail.ru
Лейба Павел Константинович
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
leybapavel@gmail.com

Аннотация. *Постановка проблемы*. На сегодняшний день актуальной является проблема эргономичности клавиатурных раскладок. Стандартная раскладка QWERTY, унаследованная от механических пишущих машинок, не учитывает современных требований к комфорту и эффективности набора текста.
Цель. Разработать алгоритм оптимизации клавиатурных раскладок с учётом метрик, отражающих эргономические критерии, и синтезировать на его основе оптимизированную раскладку для английского языка.
Результаты. Предложены метрики оценки удобства раскладок и описан алгоритм их оптимизации. С помощью данного алгоритма получена новая, эргономически оптимизированная раскладка для английского языка.
Практическая значимость. Разработанные метрики и алгоритм могут использоваться для создания и оценки клавиатурных раскладок, ориентированных на повышение удобства и производительности набора текста. Предложенная оптимизированная раскладка способна снизить нагрузку на пальцы и кисти пользователя и повысить эффективность печати.

Ключевые слова: клавиатурная раскладка, эргономика, оптимизация, автоматизированная информационная система.

Введение

Клавиатурная раскладка QWERTY, созданная в XIX веке для механических печатных машинок, была предназначена для минимизации заклинивания клавиш путём разнесения наиболее часто используемых буквенных сочетаний [1]. Несмотря на переход к электронным клавиатурам, QWERTY продолжает оставаться стандартом из-за широкой распространённости. Однако она не является эргономичной: частые символы и буквосочетания находятся в неудобных позициях, вынуждая пользователя к неестественным движениям пальцев и увеличивая нагрузку при наборе текста.

Для устранения этих недостатков неоднократно предпринимались попытки создать альтернативные раскладки. Примерами являются раскладка Дворака и более поздняя Colemak, направленные на повышение удобства печати путём более оптимального перераспределения символов. Однако, несмотря на преимущества, альтернативные раскладки пока не получили широкого распространения из-за сложностей адаптации пользователей [2].

В данной работе ставится задача глубже разобраться с понятием «удобства» клавиатурной раскладки и на базе количественных эргономических метрик разработать алгоритм синтеза эргономичной раскладки.

Формализованная постановка задачи

Основной целью работы является разработка алгоритма, позволяющего численно выразить преимущества эргономических характеристик клавиатурных раскла-

док, в частности, минимизировать расстояние, проходимое пальцам при печати, а, стало быть, и увеличить производительность операторской работы (набора буквенно-цифровых символов) на определенной информационной выборке, а также разработать на этой основе алгоритм синтеза эргономичной раскладки.

Предлагаемый алгоритм синтеза рассчитан на пользователей, использующих классический 10-пальцевый (или 9-пальцевый) метод слепой печати. В ходе печати пользователи располагают 8 пальцев на «домашнем ряду» (клавиши ASDF JKL; на стандартной раскладке QWERTY), а большие пальцы отвечают за нажатие пробела. Каждому пальцу отводится своя колонна (или колонны, в случае указательных пальцев) клавиш.

В работе используется понятие «N-грамма» — набор последовательных символов, встречаемых в тексте, длинной N. Частные случаи N-грамм — биграммы (последовательность двух символов) и триграммы (последовательность трех символов) используются наиболее часто.

Для робастной оценки клавиатурной раскладки по любым характеристикам, необходимо принимать в расчёт частотность N-грамм: очень утомляющая, но очень редкая последовательность символов не должна иметь большего веса, чем чуть менее утомляющая, но гораздо более частая N-грамма. Из этого возникает необходимость в наборе данных частот N-грамм. Написать программу, которая бы подсчитала необходимые данные по тексту, представляется тривиальной задачей, однако появляется недостаток в виде зависимости от эталонного текста: короткий текст никогда не будет репрезентативен, длинный текст сложно найти (или даже собрать из нескольких) и потребует значительных ресурсов при вычислении. Поэтому в качестве основы для подсчетов метрик была использована статистика частотности N-грамм английского языка, полученная из обширного массива текстов проекта Google Ngrams [3]. Этот набор данных состоит из примерно 8,12 млн оцифрованных книг и статей за 1500–2019 года, и содержит около 800 млрд слов на восьми языках. Сами тексты недоступны, однако предоставляются частотности для N-грамм длиной от 1 до 5. При этом в корпус попадают только последовательности, найденные минимум в 40 книгах, что значительно уменьшает долю шума в длинных N-граммах.

Для подсчета расстояний в работе используется единица *U* (от англ. unit). Значение *U* соответствует физическому размеру между центрами двух клавиш на клавиатуре, и равно сумме ширины кнопки и расстояния между клавишами.

Характеристики клавиатурной раскладки

Для конструктивного сравнения и оценки эргономичности клавиатурных раскладок необходим объективный подход, основанный на численных характеристиках. Использование таких характеристик позволяет наглядно и обоснованно сравнивать различные раскладки.

Самой тривиальной метрикой клавиатурной раскладки является расстояние, проходимое пальцами при печати. Имея датасет частотностей всех биграмм, благодаря Google Ngrams, метрику общего расстояния можно сформулировать как нахождение суммы расстояний движений пальцев для каждой биграммы, умноженной на частотность биграммы. Если для заданной раскладки биграмма AQ нажимается одним пальцем (как, например, на QWERTY), то считаем расстояние между физическими клавишами A и Q, и умножаем на частотность данной биграммы; иначе, предполагаем, что палец для буквы Q находится на домашней позиции, и считаем расстояние от нее, и домножаем на частотность данной биграммы.

Предположение о нахождении пальца на домашней позиции — это допущение. Чтобы повысить точность подсчетов, можно использовать триграммы (и другие N-граммы). Чем длиннее последовательность символов, тем больше информации о положении пальцев, и тем точнее будет расчет.

Однако общее расстояние, которое в среднем проходят пальцы во время печати, не является единственной характеристикой, влияющей на эргономичность раскладки и оказывающей существенное влияние на ощущения и энергозатраты во время печати. Существуют множество паттернов движения пальцев, многие из которых нежелательные и приводят к излишней нагрузке.

Рассмотрим некоторые паттерны. Самым простым нежелательным паттерном являются SFB (Same Finger Bigram, биграммы одного пальца). Они возникают, когда две клавиши нажимаются подряд одним и тем же пальцем, и требуют его движения. Например, в слове «*decade*» на раскладке QWERTY буквы D, E, и C все расположены на одной колонке, нажимаемой средним пальцем, и образуют три SFB (DEcade, dECade и снова decaDE). Визуализация движений пальцев при наборе данного слова представлена на рис. 1.

Наиболее нежелательными SFB считаются биграммы на слабых пальцах, например мизинцах, тогда как биграммы на указательных или средних пальцах менее критичны.

Аналогично SFB, существуют dSFB (disjoint Same Finger Bigram, разделенные биграммы одного пальца). Это непоследовательные нажатия одним пальцем, то есть, разделенные некоторыми другими нажатиями (однако недостаточными, чтобы пальцы вернулись на домашнее положение). Разделенные биграммы одного пальца чуть менее критичны чем SFB. Примером на раскладке

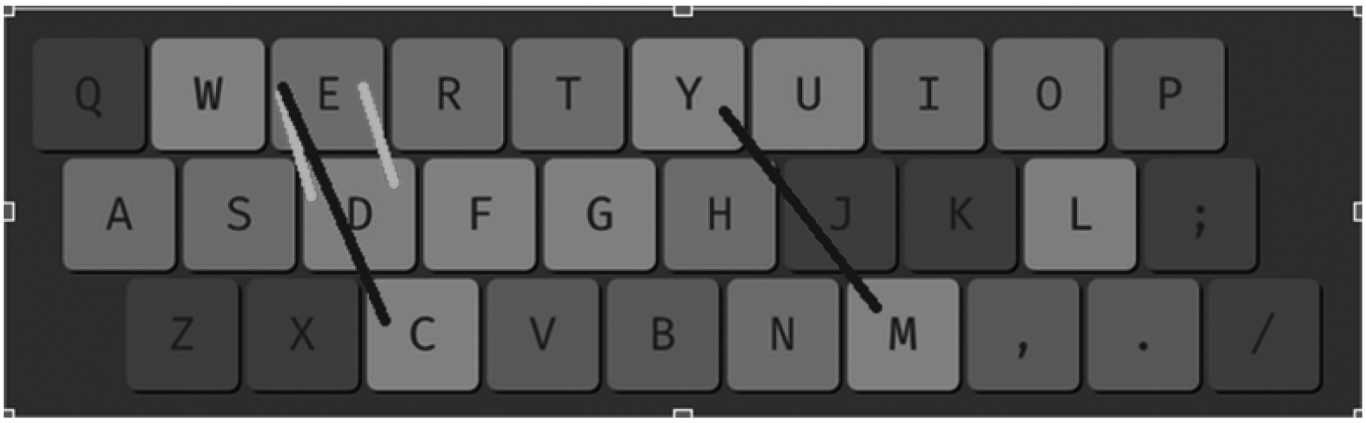


Рис. 1. SFB, dSFB

QWERTY является слово «may», в котором M и Y нажимаются указательным пальцем, разделенные нажатием A.

Приведенный пример со словом «may» является особенно показательным, т.к. на традиционной клавиатуре со сдвигом рядов, M и Y находятся на диагонали (а следовательно, расстояние между ними составляет гигантские 2.66 единиц), а разделение минимальное — одно нажатие, что не позволяет пальцу вернуться на домашнее положение, «разбив» дистанцию на две части. Это показывает, что не все SFB и dSFB одинаковы: чем больше дистанция между клавишами, тем SFB более сложный в нажатии. Наиболее сложными являются биграммы на диагоналях (4 штуки), а также биграммы через ряд.

Также, нажатия одной и той же буквы (LL и OO очень популярны в английском языке), хоть и напрягают определенный палец и должны быть учтены, гораздо более предпочтительны, т.к. не требуют передвижения пальцев.

Рассмотрим паттерн движения SCB (SCissor Bigram, ножницы). Ножницы возникают в случае, когда:

1. Вертикальное расстояние между клавишами составляет два ряда.
2. Палец, который предпочитает находиться выше, оказывается ниже.

На рис. 2 темно-серые линии обозначают биграммы «ножницы», тогда как остальные показывают предпочтительные паттерны движений пальцев.

На левой руке демонстрируют ситуации, когда более длинный палец оказывается ниже более короткого, тогда как на правой руке наоборот — длинный палец оказывается выше. На практике серые паттерны обычно ощущаются заметно комфортнее при наборе текста.

При анализе движений пальцев необходимо учитывать не только длину пальцев, но и угол подхода рук к клавиатуре. Поскольку запястья обычно находятся под углом около 70° к клавиатуре (а не 90°), это естественным образом приводит к тому, что указательный палец находится ближе к нижнему ряду, а мизинец — к верхнему. Таким образом, предпочтительные положения пальцев относительно друг друга в биграммах выглядят следующим образом:

- указательный палец предпочитает находиться ниже;
- средний палец предпочитает быть выше;
- безымянный палец предпочитает быть выше указательного и мизинца, но ниже среднего;
- мизинец предпочитает быть не ниже указательного, но ниже среднего и безымянного.

Рис. 2. Ножницы

На стандартной клавиатуре нередки случаи, когда необходимо сдвинуть кисть, чтобы достать до клавиши в дальней колонке указательного пальца. Биграммы с такими паттернами движения называются LSB (Lateral Stretch Bigram, раздвигающие биграммы), и аналогично dSFB, dLSB (disjoint Lateral Stretch Bigram, разделенные раздвигающие биграммы).

LSB можно охарактеризовать как биграммы, которые вынуждают растягивать пальцы или слегка смещать кисть вбок для перехода от одной клавиши к другой. Точные границы классификации LSB зависят от индивидуальных факторов, таких как размер кисти, угол расположения запястий относительно клавиатуры, использование опоры для запястий и тип клавиатуры. Примеры LSB представлены на рис. 3.

Аналогично разнице SFB и dSFB, различие между LSB и dLSB заключается в том, что в LSB обе клавиши нажимаются подряд, тогда как в dLSB между ними находится клавиша, которую нажимает третий палец. Например, в слове «goes» для набора последовательности GOE может потребоваться боковое движение кисти, чтобы перейти от G к E.

Таким образом, LSB назовём:

1. Биграммы соседних пальцев с горизонтальным расстоянием 2U или больше. Обычно это включает случаи, когда одна клавиша нажимается указательным пальцем в центральной колонке, а другая — средним пальцем той же руки (например, QWERTY TE, GE, BE). Также сюда относятся случаи, когда одна клавиша нажимается мизинцем, а другая — безымянным пальцем той же руки (например, QWERTY ‘O, ‘L).
2. Биграммы полусоседних пальцев (указательный и безымянный, средний и мизинец) с горизонтальным расстоянием 3.5U или больше. Это характерно для биграмм вроде BW или BS, где стандартная раскладка клавиатуры со сдвигом рядов увеличивает расстояние между клавишами.

Разработка эргономичной раскладки

Предлагаемый алгоритм синтеза раскладок состоит из двух модулей: модуля оценки раскладки и модуля комбинаторной оптимизации. Модуль оценки раскладки подсчитывает описанные метрики и выдает единую численную оценку на их основе. Модуль комбинаторной оптимизации, имея доступ к текущей раскладке и её оценке, совершает изменение в расположении клавиш. Итеративно вызывая модули друг за другом, достигается оптимизация оценки клавиатурной раскладки. Рассмотрим подробнее реализацию каждого модуля.

Модуль оценки клавиатурных раскладок, реализует следующие численные метрики: подсчет общего усилия на основе биграмм или триграмм; SFB и dSFB на основе биграмм и триграмм соответственно; LSB и dLSB на основе биграмм и триграмм соответственно; SCB и dSCB на основе биграмм и триграмм соответственно;

Алгоритм подсчета большинства метрик строится из следующих шагов:

1. Фильтрация N-грамм, не подходящих под условие метрики.
2. Оценка расстояния, проходимого пальцами для ввода N-граммы.
3. Подсчет «усилия» ввода N-граммы: произведение расстояния и частотности N-граммы.
4. Распределение усилия по пальцам.
5. Добавление усилия N-граммы в общий счетчик.

Рассмотрим каждый шаг отдельно.

Первый шаг определения подходящих N-грамм уникален для каждой метрики.

Для определения общего усилия подходят все N-граммы, которые можно составить из оптимизируемого подмножества символов на раскладке. Для SFB подходят биграммы, которые нажимаются одним пальцев, аналогично для dSFB, но второй символ игнорируется

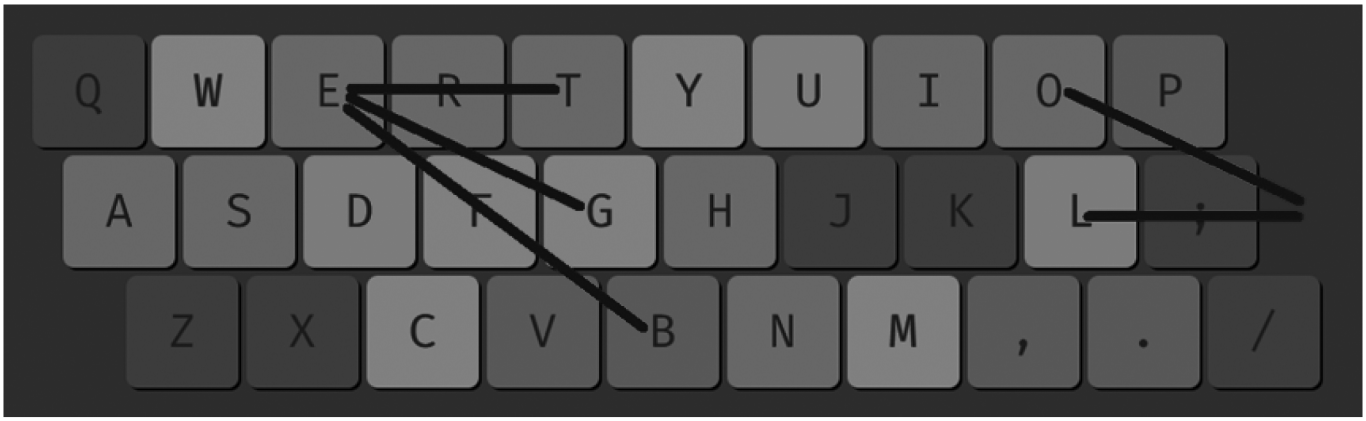


Рис. 3. LSB

(например, R*T). Для LSB (и аналогично dLSB, по логике dSFB) подходят биграммы (триграммы), в которых участвуют клавиши, находящиеся вне круга диаметром 5U вокруг домашнего ряда. Для SCB (и аналогично dSCB) подходят биграммы (триграммы), которые не следуют заданным выше «предпочтениям» пальцев.

Второй шаг — шаг оценки расстояния происходит следующим образом:

1. инициализируется ассоциативный массив для сохранения последней позиции каждого пальца: каждый палец инициализируется своим домашним положением, кроме первого символа в N-грамме — считается, что соответствующий палец уже находится на этой клавише;
2. N-грамма разбивается на символы;
3. для каждого символа считается Эвклидово расстояние, согласно физической раскладке клавиатуры, между последней и целевой позицией пальца; последняя позиция обновляется;
4. расстояния суммируются и получается единственное общее и число, и с разбиение по пальцам.

Данный алгоритм учитывает «сложность» движения и его частоту, согласно заданному датасету, поэтому следующий *третий шаг* домножает полученные расстояния на частоту N-граммы. Таким образом, удается численно выразить оптимальность раскладки по заданным характеристикам.

Для реализации *четвертого шага* рассмотрим модуль комбинаторной оптимизации. Ядром модуля является метод имитации отжига. Имитация отжига (Simulated Annealing) — стохастический методом оптимизации, который часто применяется в комбинаторных задачах с большим пространством поиска. Алгоритм основан на аналогии с физическим процессом отжига металла, при котором высокие температуры повышают подвижность структуры и позволяют системе переходить в различные состояния, в том числе с более высокой энергией, а постепенное охлаждение снижает вероятность таких переходов [4].

При решении задачи оптимизации клавиатурной раскладки этот подход позволяет выполнять перестановки символов и постепенно улучшать результат, не застревая в локальных минимумах с самого начала. На первых итерациях «температура» алгоритма высока, и допускается принятие решений, которые временно могут ухудшить качество раскладки. Это позволяет исследовать пространство решений более полно. С уменьшением «температуры» вероятность перехода к менее выгодному состоянию падает, и процесс фокусируется на улучшении достигнутого решения.

Критерием оптимизации является взвешенная сумма метрик, считаемых модулем-оценщиком и штрафов за превышение максимального процента нагрузки на каждый палец.

Раскладка A считается более эргономичной, чем раскладка B, когда значение критерия оптимизации для A оказывается меньше, чем для B.

В алгоритме имитации отжига имеется несколько ключевых параметров.

- Начальная температура определяет первоначальную вероятность принятия неоптимальных решений. Высокая начальная температура позволяет алгоритму исследовать большие области пространства решений на ранних этапах.
- Коэффициент охлаждения управляет скоростью снижения температуры после каждой итерации. Типичные значения находятся в диапазоне 0,8–2. Более медленное охлаждение дает лучшие результаты, но требует больше времени.
- Число итераций задает максимальное количество шагов алгоритма.
- Терпение определяет, сколько итераций без улучшения должно пройти, прежде чем алгоритм частично сбросит температуру, чтобы выйти из локального минимума.

Процесс оптимизации раскладки происходит следующим образом:

1. Алгоритм начинает с исходной раскладки (например, QWERTY или любая другая, в том числе случайная) и оценивает её качество.
2. На каждой итерации:
   - Создается соседняя раскладка путем перестановки символов (например, обмена двух клавиш или перемещения целых сегментов ряда или колонки).
   - Вычисляется оценка новой раскладки.
   - Если новая раскладка лучше текущей, она принимается безусловно.
   - Если новая раскладка хуже, она может быть принята с вероятностью, зависящей от текущей температуры и величины ухудшения.
   - Температура снижается в соответствии с коэффициентом охлаждения.
3. Алгоритм отслеживает лучшую найденную раскладку на протяжении всего процесса.
4. Если определенное количество итераций не привело к улучшению, температура может быть частично сброшена, чтобы помочь алгоритму выйти из потенциального локального минимума.
5. После завершения заданного числа итераций или достижения критерия остановки алгоритм возвращает лучшую найденную раскладку.

На рис. 4 приведена блок-схема алгоритма синтеза.

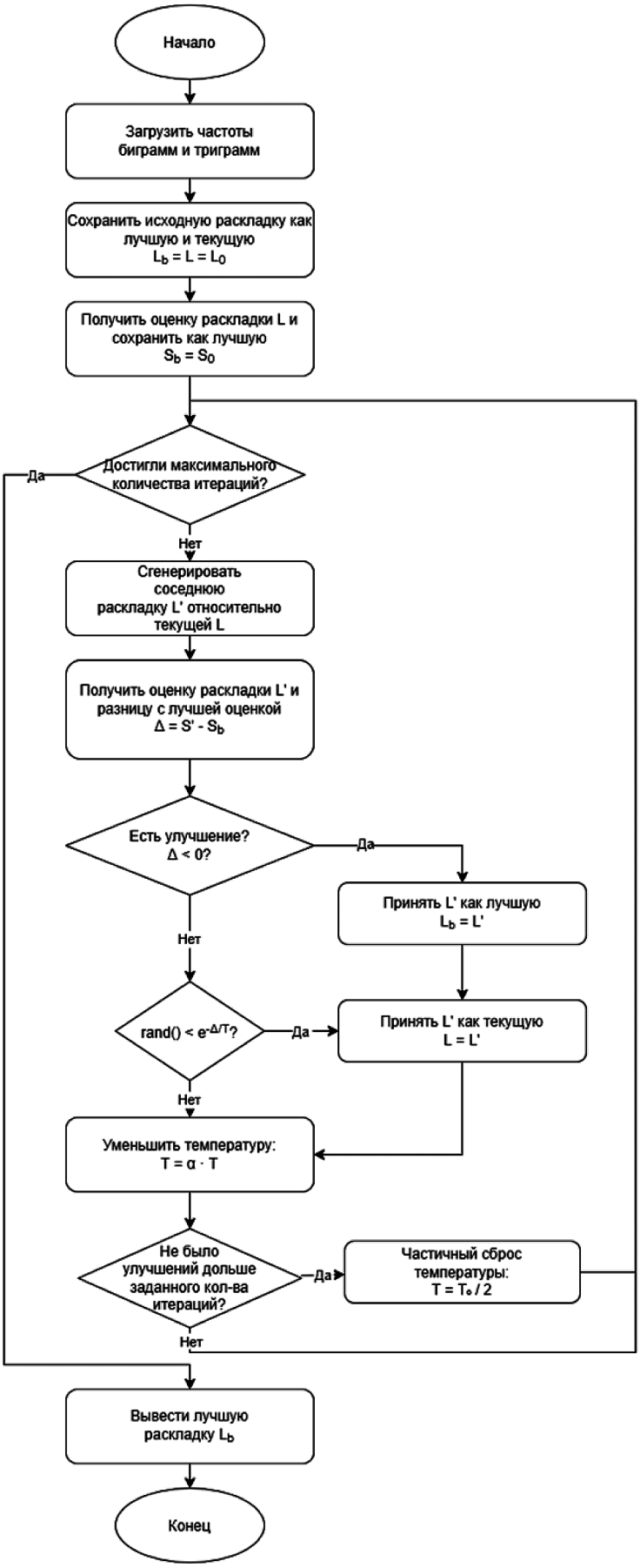


Рис. 4. Блок-схема алгоритма синтеза

Оценка полученного результата

Несмотря на все преимущества, которые привносят в задачу определения эргономичности раскладки численные метрики, от субъективности все равно не уйти: для получения интегрального критерия набор подсчитанных метрик нужно объединить в одно число. Какая характеристика важнее другой? Взвешивание характеристик зависит от задач и предпочтений пользователя.

Для предлагаемой раскладки были выбраны следующие весовые параметры характеристик: общая нагрузка — 5.0; SFB и dSFB — 2.0 и 1.0 соответственно; LSB и dLSB — 3.0 и 1.5 соответственно; SCB и dSCB — 1.0 и 0.5 соответственно.

Подбор весов осуществлялся поэтапно. На первом этапе веса были приведены к значениям, чтобы каждая характеристика имела сопоставимый вклад в целевую функцию, чтобы нивелировать различия, обусловленные разной частотой возникновения и диапазоном значений метрик. Далее веса были скорректированы на основе практического опыта использования различных раскладок (QWERTY, Dvorak, Colemak-DH) и анализа результатов модуля-оценщика в этих раскладках: наиболее дискомфортными показали себя LSB-паттерны, так как они требуют движения всей кисти, а наименее значимыми оказались SCB-паттерны. Кроме того, «непоследовательные» версии характеристик (dSFB, dLSB, dSCB) взвешены вдвое слабее соответствующих основных характеристик. Весовой коэффициент для общей нагрузки был выбран так, чтобы её вклад составлял примерно 50 % суммы вкладов остальных параметров на основе результатов анализа раскладок Dvorak и Colemak-DH.

Используя заданные весовые характеристики алгоритм синтезировал раскладку. График изменения оценки раскладки во время процесса оптимизации представлен на рис. 5, а синтезированная раскладка и распределение общей биграмной нагрузки по пальцам, представлены на рис. 6.

Синтезированная раскладка, за счет более эффективного использования домашнего ряда, понижает общее среднее расстояние на 41.5 %, а также решает проблему неравномерного распределения нагрузки между руками раскладки QWERTY. Диаграмма распределения нагрузки между пальцами в сравнении с исходной QWERTY представлена на рис. 7.

Синтезированная раскладка также уменьшает SFB на 82.5 % относительно QWERTY (рис. 8). Биграммы, требующие движения кисти, LSB, уменьшились на 42.7 %, а ножницы, SCB, на 52.5 %.

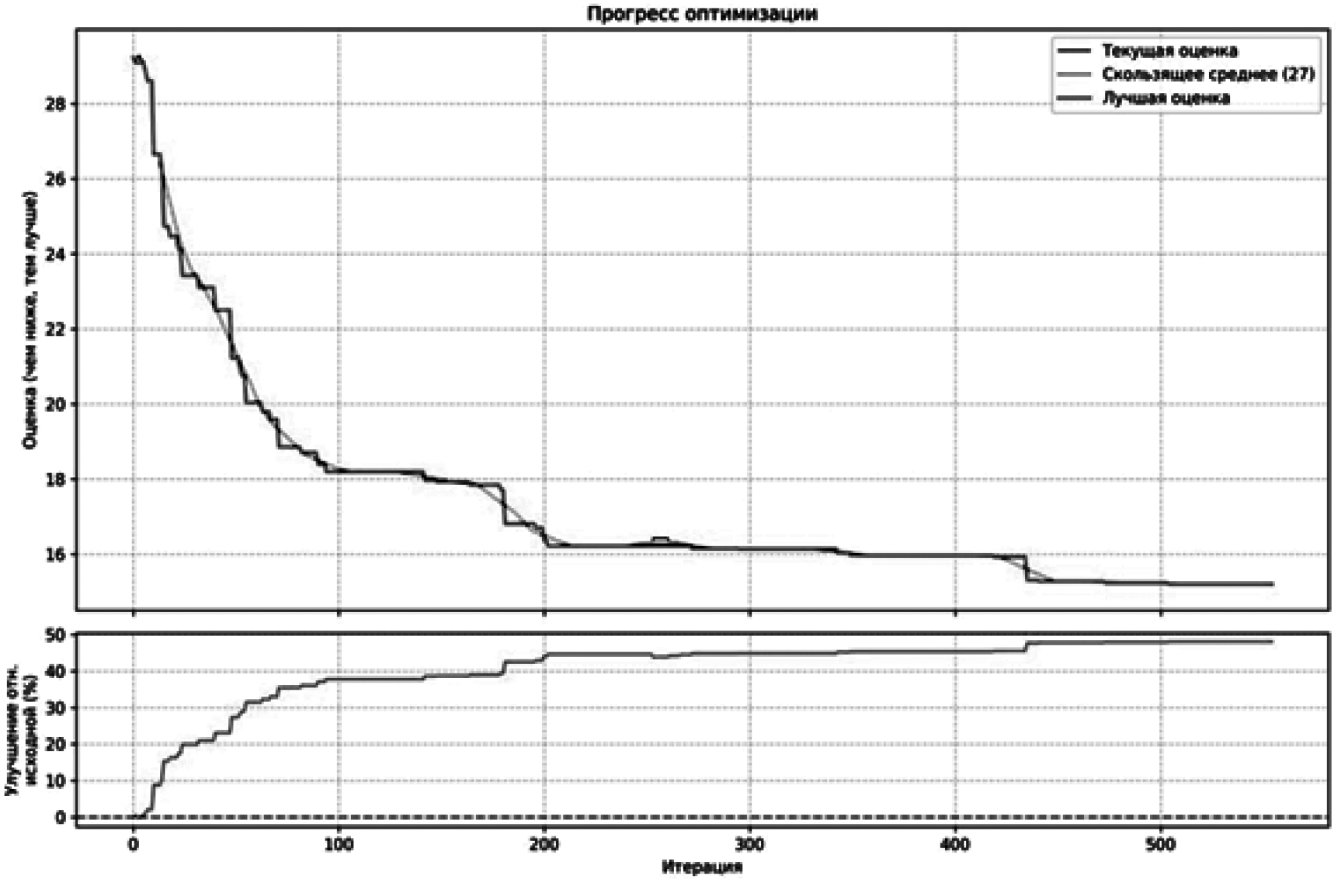


Рис. 5. Процесс оптимизации

Рис. 6. Биграммная метрика общей нагрузки синтезированной раскладки

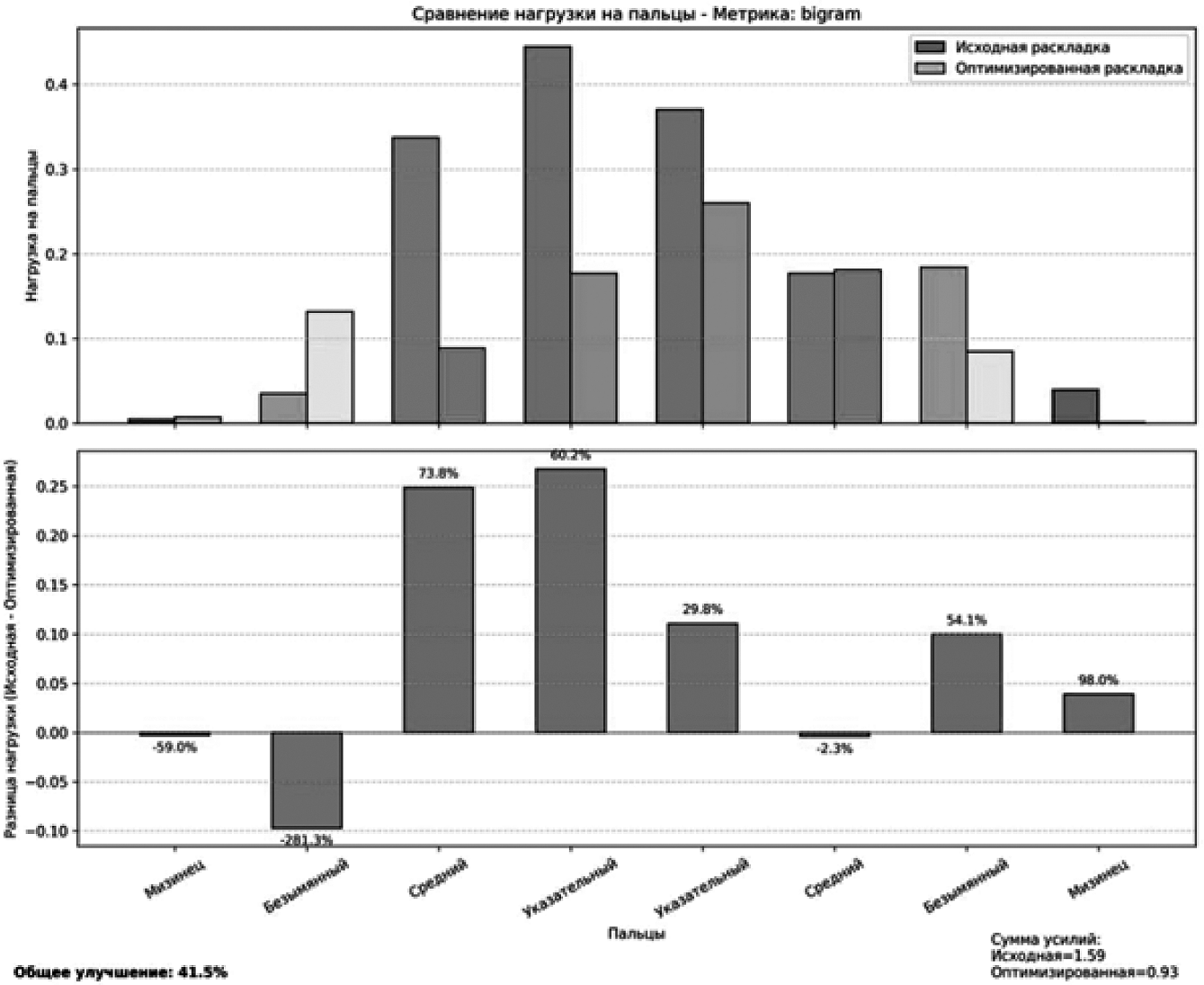


Рис. 7. Распределение общей биграммной нагрузки между пальцами

Заключение

В результате проведённого исследования предложен подход к количественной оценке эргономичности клавиатурных раскладок, который основывается на численных метриках, учитывающих частотность N-грамм и связанные с ними паттерны движения пальцев. Предложенный метод оценки позволяет объективно сравнивать существующие раскладки и выявлять конкретные

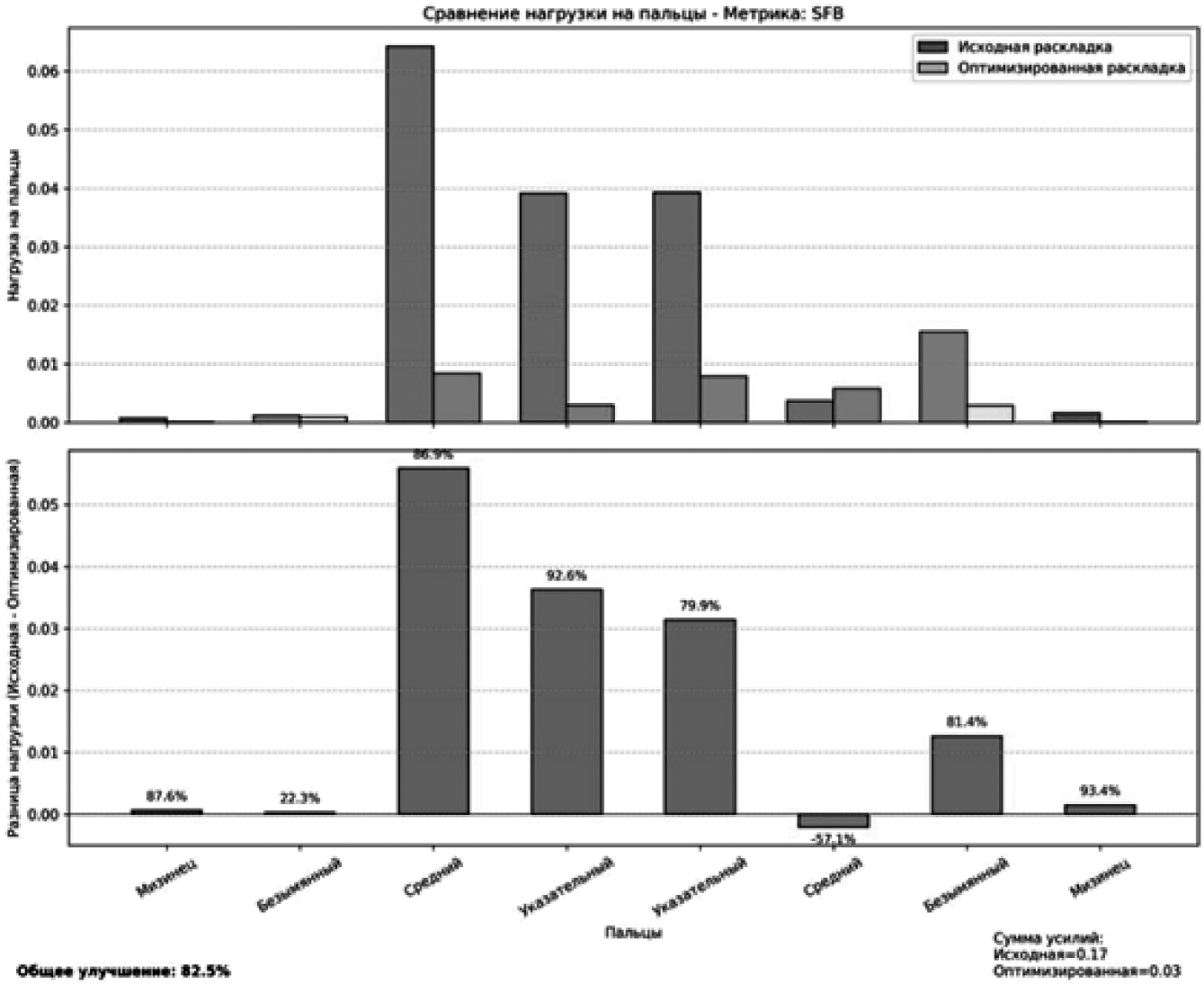


Рис. 8. Распределение SFB между пальцами

недостатки, оказывающие влияние на удобство и эффективность набора текста. Использование статистических данных частотности N-грамм из обширной базы Google Ngrams обеспечивает высокую репрезентативность результатов анализа. Реализованный алгоритм позволяет рассчитывать и сравнивать различные метрики, а также создавать оптимизированные клавиатурные раскладки с учётом заданных эргономических требований. Это открывает возможность не только улучшить существующие решения, но и проектировать полностью новые, более удобные и эффективные раскладки, снижая риск утомления и травм при длительном наборе текста, а также повышая общую производительность работы пользователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Noyes, J. The QWERTY keyboard: a review / J. Noyes // International Journal of Man-Machine Studies. — 1983. — Т. 18. — № 3. — С. 265–281.
2. Neill, S. B. Dvorak vs. Qwerty: Will Tradition Win Again? / S. B. Neill // The Phi Delta Kappan. — 1980. — Т. 61. — № 10. — С. 671–673.
3. Google Ngram Viewer. — URL: http://storage.googleapis.com/books/ngrams/books/datasetsv2.html (дата обращения: 08.12.2024).
4. What is Simulated Annealing? — URL: https://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/learn-43/lib/photoz/.g/web/glossary/anneal.html (дата обращения: 04.03.2025).

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.09

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

OPTIMIZATION OF PROCESSING AND VISUALIZATION OF SPACECRAFT TELEMETRY DATA

B. Goryachkin
A. Baldin
S. Chupis

Summary. The article is devoted to the development of software for processing and visualizing telemetry data received from a spacecraft. The features of the structure of telemetry records, methods of converting them into formats convenient for analysis, as well as evaluating the effectiveness of displaying various types of data are considered. Special attention is paid to the time factor as a critical parameter in the process of operator interaction with the system.
Problem statement. The relevance of the research is due to the growing number of spacecraft and the increasing complexity of their functionality, which leads to an increase in the volume of telemetry data and the need for their operational processing. Existing systems require significant time for analysis, which can lead to delays in decision-making, especially in emergency situations.
Goal. The aim of the work is to develop a software solution that provides fast conversion of binary telemetry data into text and graphic formats, their efficient visualization and storage, as well as minimizing operator interaction time with the system.
Results. A program has been developed that converts data in the *.knp format into easy-to-analyze text and graphical representations. The efficiency of displaying various types of telemetry data was evaluated, which showed the greatest efficiency for Double-type parameters. Integration with the MySQL database management system has been implemented for reliable storage and quick access to data.
Practical significance. The developed solution significantly reduces the processing time of telemetry information, which is critically important for the operational control of spacecraft. The program can be integrated into existing monitoring systems and adapted to work with other types of spacecrafts.

Keywords: telemetry, spacecraft, data processing, visualization, human-machine interaction, database, operational management.

Горячкин Борис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
bsgor@mail.ru
Балдин Александр Викторович
доктор технических наук, профессор,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
bal@bmstu.ru
Чупис Сергей Александрович
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
sergei.chupis@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке программного обеспечения для обработки и визуализации телеметрических данных, принятых с борта космического аппарата. Рассматриваются особенности структуры телеметрических записей, методы их преобразования в удобные для анализа форматы, а также оценка эффективности отображения различных типов данных. Особое внимание уделено временному фактору как критическому параметру в процессе взаимодействия оператора с системой.
Постановка проблемы. Актуальность исследования обусловлена ростом количества космических аппаратов и усложнением их функционала, что приводит к увеличению объема телеметрических данных и необходимости их оперативной обработки. Существующие системы требуют значительных временных затрат на анализ, что может привести к задержкам в принятии решений, особенно в нештатных ситуациях.
Цель. Цель работы заключается в разработке программного решения, обеспечивающего быстрое преобразование двоичных телеметрических данных в текстовый и графический форматы, их эффективную визуализацию и хранение, а также минимизацию времени взаимодействия оператора с системой.
Результаты. Разработана программа, преобразующая данные формата *.knp в удобные для анализа текстовые и графические представления. Проведена оценка эффективности отображения различных типов телеметрических данных, показавшая наибольшую эффективность для параметров типа Double. Реализована интеграция с СУБД MySQL для надежного хранения и быстрого доступа к данным.
Практическая значимость. Разработанное решение позволяет значительно сократить время обработки телеметрической информации, что критически важно для оперативного управления космическими аппаратами. Программа может быть интегрирована в существующие системы мониторинга и адаптирована для работы с другими типами космических аппаратов.

Ключевые слова: телеметрия, космический аппарат, обработка данных, визуализация, человеко-машинное взаимодействие, база данных, оперативное управление.

Введение

Космические аппараты играют ключевую роль в современной космонавтике, обеспечивая связь, навигацию, научные исследования и многое другое. Для эффективного выполнения этих задач спутники оснащаются многочисленными датчиками, непрерывно собирающими телеметрическую информацию о состоянии всех бортовых систем. Поток данных, передаваемых на Землю, огромен и требует сложной системы обработки для извлечения полезной информации и обеспечения надежной работы космических аппаратов.

Проблема заключается в эффективной обработке и анализе этого колоссального объема телеметрической информации для оперативного выявления неисправностей, оптимизации работы систем и принятия обоснованных решений по управлению полетом. Существующие системы обработки данных, как правило, представляют собой многоступенчатые комплексы, включающие наземные измерительные пункты, центры управления полетами и телеметрические информационно-вычислительные комплексы. При этом финальным этапом является анализ полученных двоичных файлов специалистами, что является трудоемким и затратным по времени процессом.

Актуальность данного исследования обусловлена растущим числом космических аппаратов и усложнением их функционала, что приводит к экспоненциальному росту оперативного принятия управленческих решений.

Используемые форматы телеметрических данных

В данной статье в качестве примера рассматриваемой телеметрической системы будет выступать искусственный спутник «Канопус-В». Он является системой второго класса, а, именно, транспортируемой телеметрической системой. Транспортируемые телеметрические системы [1] — объект исследования связан с передатчиком с помощью провода. Вместе они находятся на носителе и неподвижны относительно друг друга, однако носитель перемещается относительно приёмника.

Для сохранения телеметрических данных был разработан специальный формат файла — «*.knp». Такое расширение файла связано с названием космического аппарата «Канопус-В». Данный формат файла был специально разработан Центром Управления Полетами (ЦУП) для сохранения телеметрических данных в специальной структуре. Информация в этом файле является статической, то есть неизменной со временем. Каждому значению параметра соответствует определенное время, когда это значение было снято с датчика. На данном космическом аппарате установлено огромное количество разнообразных датчиков, измеряющих определенные параметры. В определенные промежутки времени, называемые сеансами связи, информация с борта передаётся на Землю, где спустя некоторое количество обработок перерабатывается в двоичный файл, содержащий результаты обработки телеметрической информации в виде телеметрических записей. Записи имеют определенную структуру, разработанную в отделе Телеметрического информационно-вычислительного комплекса. Схема функционирования ЦУП показана на рис. 1.

Структура телеметрической записи состоит из нескольких полей, а, именно:

1) «номер параметра» — у каждого параметра есть свой номер, по которому можно понять, что это за параметр, какое у него название, описание и так далее.

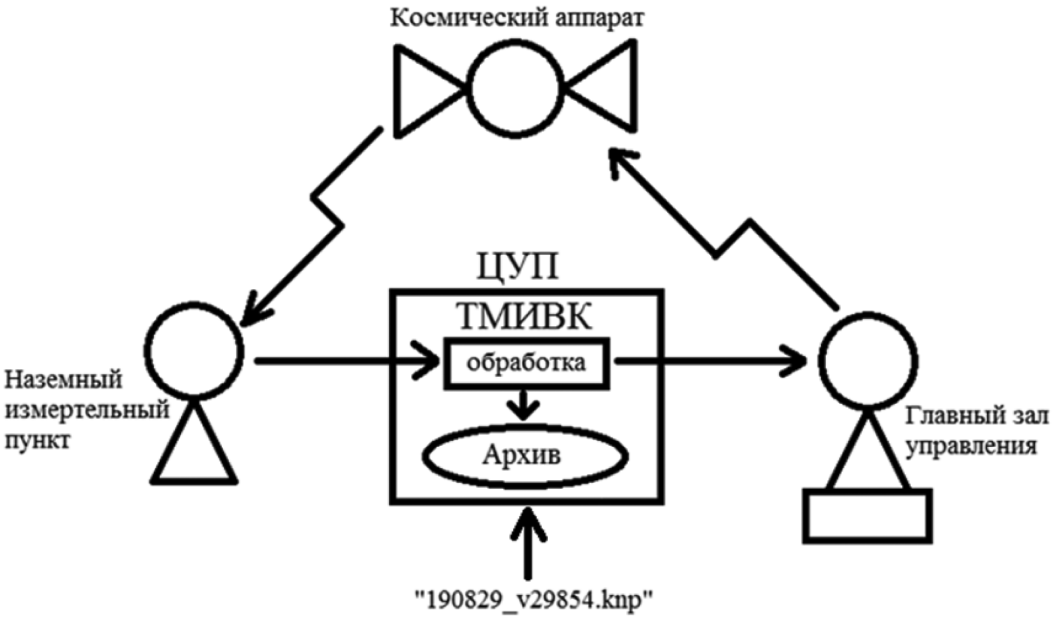


Рис. 1. Схема функционирования Центра Управления Полётами

2) «время формирования параметра» — содержит время формирования параметра в миллисекундах от начала текущих суток.
3) «размерность» — обозначает тип параметра для его отображения и документирования.
4) «атрибут» — отображает статус полученной телеметрической записи
5) «тип значения» — показывает, какой тип значения имеет запись. Существуют четыре типа значения параметра: Long, Double, Code и Point.
6) «значение параметра» — отображает значение параметра, согласно его типу. Размер данного поля может варьироваться в зависимости от типа параметра телеметрической записи.

Каждый из четырех типов значения означает свой передаваемый тип данных:
1) «Long» — означает 32-х разрядное целое число.
2) «Double» — используется для обозначения 64-х разрядного вещественного числа.
3) «Code» — первые два байта не используются, 10–11 байты обозначают длину кода, последние четыре байта обозначают 32-х разрядное целое число
4) «Point» — обозначает указанный в специально отведенной ячейке размер значения параметра и представляет собой последовательность данных.

Также среди телеметрических записей присутствуют записи, называемые служебными сообщениями. Они определяются наличием 16 единиц в начале телеметрической записи. Также они содержат такие параметры как «время формирования параметра», «Тип сообщения», «Тип значения» и «Сообщение».

Поле «тип сообщения» может содержать в себе шесть типов сообщения:
1) Пустая посылка — предназначено для определения пустого служебного сообщения;
2) Начало сеанса — предназначено для определения служебного сообщения с временем начала сеанса связи;
3) Текущее время — предназначено для определения текущего времени записи;
4) Конец сеанса — предназначено для определения служебного сообщения с сообщением об окончании сеанса связи;
5) Смена режима — предназначено для определения сообщения с номером выбранного режима передачи данных;
6) Ошибка — предназначено для определения сообщения с текстом ошибки.

Также, как указано в типе сообщения «смена режима», существуют несколько режимов передачи телеметрических записей. Режим непосредственной передачи — информация с борта космического аппарата сразу, или с некоторой задержкой передается на Землю. Режим воспроизведения — данные накапливаются на внутренних носителях космического аппарата, а при передачи этих данных на Землю они могут приходить в обратном порядке.

Также существует отдельная структура для телеметрических записей типа «начало сеанса», в которую входят такая информация как: имя борта, номер борта, номер витка, имя исходных данных и 2 номера версии.

Кроме непосредственно файла с телеметрией, в качестве входных данных присутствуют файлы, отображающие соответствие номеров параметров с их именем и описанием (файл в формате «*.xml») и файл содержащий соответствие номеров параметров и наименований физических размерностей этих параметров (файл в формате «*.ion»).

Обработка данных файлов не занимает много ресурсов, однако, они также очень важны, так как упрощают процесс передачи телеметрии с космического аппарата, ведь в таком случае нет необходимости в передаче всех данных о параметре, достаточно лишь передать его номер.

Выявление характеристик эффективного отображения данных на экранах индивидуального и коллективного пользования

Понимание структуры телеметрических записей необходимо для разработки эффективного алгоритма расшифровки двоичных файлов и проектирования оптимальной системы хранения данных. Зная типы данных, можно разработать принципы эффективной визуализации, учитывающие особенности восприятия информации пользователями, работающими как индивидуально, так и в составе команды. В данной телеметрической записи можно выделить следующие типы данных:

Double. Вещественные числа, представляющие значения различных параметров (например, температура, давление, напряжение).

Long. Целые числа, используемые для обозначения флагов, состояний или дискретных параметров (например, состояние датчика «включено/выключено»).

Code. Целые числа, содержащие коды ошибок, предупреждений или другую служебную информацию (обычно представленную в виде 32-битных значентбий).

Point. Последовательности байт переменной длины, используемые для хранения массивов данных или более сложных структур служебной информации.

Эффективное отображение этих типов данных на экранах коллективного пользования позволяет выявить приоритетную информацию, снижать когнитивную нагрузку на операторов и повышать оперативность принятия решений. Грамотная визуализация, например представление данных типа Double в виде графиков, а Code в виде структурированных таблиц, позволяет значительно улучшить восприятие информации по сравнению с простым отображением чисел в текстовом формате.

Основные показатели для расчётов эффективности отображения телеметрической информации на экранах коллективного и индивидуального пользования и их нормированные значения:

1) Определение приоритетов критически важной информации. Под приоритезацией понимается процесс определения относительной важности объекта (информации, задачи, требования и др.) на основе предварительной оценки его значения, рисков, сложности реализации или других чётких критериев. Данный показатель будет ранжироваться по значениям 0 или 1, где 0 — информация не важна, 1 — информация важна.
2) Снижение когнитивной нагрузки. Под когнитивной нагрузкой понимается уровень умственной активности, необходимый для выполнения определённой задачи путём удерживания данных в памяти. Согласно закону Миллера, кратковременная память человека способна запомнить и повторить не более 7 ± 2 элементов. Поэтому данный показатель будет ранжироваться по количеству объектов, выводимых на экран. Чем меньше этих объектов, тем больше будет показатель и, следовательно, меньше когнитивной нагрузки.
3) Возможность агрегирования и визуализации. Под агрегацией данных понимается процесс объединения и сжатия больших объемов информации для получения сводной, более обобщенной картины, например, вычисление средних значений, сумм или частот. Визуализация данных — это представление агрегированной или необработанной информации в графической форме (диаграммы, графики, карты и т.д.), чтобы облегчить ее понимание, выявление закономерностей. Данный показатель будет ранжироваться по значениям 0 или 1, где 0 — невозможно визуализировать и агрегировать информацию, 1 — возможно.
4) Иерархический подход к информации. Иерархический подход к информации — это организация данных и их представления в системе таким образом, чтобы пользователи могли получать доступ к информации разного уровня детализации, начиная с общей картины и постепенно переходя к более подробным сведениям при необходимости. Данный показатель будет ранжироваться по значениям 0 или 1, где 0 — данные низкого уровня детализации, 1 — данные высокого уровня детализации.

В табл. 1 представлены оценки четырех показателей для данных всех четырех типов, чтобы рассчитать эффективность их отображения на экране общего пользования. Значения всех типов телеметрических записей будут сравниваться на иллюзорном примере: все типы данных имеют по 25 значений для одного датчика, что позволит сравнить их в равных условиях.

Таблица 1.

Оценки показателей для четырёх типов телеметрической информации

Номер показателя	Показатель	Тип данных			
		Long	Double	Code	Point
1	Приоритезация (значения 0 или 1)	1	1	1	1
2	Когнитивная нагрузка (количество объектов, выводимых на экран для отображения)	2	1	25	25
3	Возможность агрегирования и визуализации (значения 0 или 1)	1	1	1	1
4	Иерархический подход к информации (значения 0 или 1 для наименее и наиболее высокого уровня детализации информации)	1	1	1	1

В таблице показатели 1, 3 и 4 имеют одинаковые значения, равные 1, так как данные всех типов одинаково важны для отображения, все имеют одинаковую возможность для агрегации и отображения и все они представляют общую информацию о состоянии космического аппарата, то есть одинаково детализированную информацию.

Также в таблице приведен показатель 2 (когнитивная нагрузка, рассчитываемая исходя из количества объектов, выводимых на экран общего пользования) для всех типов данных. Для типа Long данные могут быть отображены в виде гистограммы, которая будет показывать, какой процент времени датчик был активен, а какой неактивен. Данные типа Double могут быть отображены в виде графика зависимости значения по времени, то есть на экран будет выводиться один объект — график. Данные типа Code и Point также могут отображены в виде гистограмм. В таком случае количество объектов на экране будет равно количеству кодов ошибок и количеству служебной информации по данному датчику за рассматриваемый период времени, соответственно. Так как мы предполагаем, что за рассматриваемый пе-

риод времени по данному датчику пришли телеметрические данные всех типов в равном количестве, то и количество кодов ошибок и служебной информации будет равно 25.

Под эффективностью отображения данных на экране общего пользования понимается комбинированная оценка 4-х показателей: приоритезация, когнитивная нагрузка, возможность агрегирования и визуализации и иерархический подход к информации. Эффективность будет рассчитываться из суммы значений данных параметров, где наибольшая сумма будет означать, что данный тип телеметрических записей наиболее эффективен для отображения на экране общего пользования. Формула для вычисления эффективности:

$$Э = F1 + \frac{1}{F2} + F3 + F4, \quad (1)$$

где $F1$ — значение оценки приоритезации, $F2$ — значение оценки когнитивной нагрузки (эффективность обратно пропорциональна количеству объектов, выводимых на экран), $F3$ — значение оценки возможности агрегирования и визуализации, $F4$ — значение оценки иерархического подхода к информации.

Рассчитаем эффективность для каждого типа данных. Получим $Э_L = 3{,}5$; $Э_D = 4$; $Э_C = 3{,}04$; $Э_P = 3{,}04$. Исходя из данных результатов видно, что тип Double наиболее эффективен для отображения на экране общего пользования, так как количество объектов, находящихся на экране равно 1 (график значений по времени определенного датчика), тогда как для отображения других типов данных требует отображения более чем одного объекта.

Остальные типы данных не настолько эффективны для отображения на экране коллективного пользования, однако они также важны для анализа состояния искусственного спутника. Их можно отобразить отдельно, например, в виде другой диаграммы.

В процессе разработки программы для отображения параметров в графическом виде была создана база данных, где сохраняется обработанная телеметрия. В качестве СУБД [2], в которой разрабатывалась структура хранения обработанных телеметрических данных, была выбрана MySQL [3], так как она предлагает оптимальное решение для хранения обработанной телеметрии благодаря своей надежности, производительности и простоте интеграции. MySQL легко интегрируется с аналитическими инструментами и веб-интерфейсами, что делает его удобным выбором для комплексных систем мониторинга, где важны как стабильность хранения, так и оперативный доступ к данным.

При обращении к базе данных с целью вывода определенного параметра на графический интерфейс используются селективные запросы, например, запрос, который возвращает список всех параметров с количеством записей этих параметров, или селективный запрос, возвращающий полную информацию об определенном параметре. Кроме селективных запросов также используются запросы на вставку данных, например, запрос на вставку данных о размерностях, или запрос на вставку информации о именах и описаниях параметров.

Специфика процесса воспроизведения телеметрических данных

В современных системах управления космическими аппаратами критическую роль играет эффективное взаимодействие человека-оператора с программным обеспечением, предназначенным для обработки и визуализации телеметрической информации. Разработанная программа, описанная в данном исследовании, функционирует в рамках контура управления системы «человек-машина», где ключевым параметром, определяющим эффективность взаимодействия, является время. Оператору необходимо оперативно анализировать данные о состоянии космического аппарата, принимать решения и корректировать работу системы в реальном времени. В настоящей статье рассматриваются особенности взаимодействия оператора с программой, а также роль временного фактора в обеспечении эффективного управления.

Контур управления как обобщенный коммуникант в системе обработки телеметрической информации оказывает ключевое значение на ряд процедурных функций: передачу данных с космического аппарата на наземный измерительный пункт, их обработку в ЦУП, преобразование в удобный для анализа формат и визуализацию для оператора. На каждом из этих этапов временные задержки могут привести к критическим последствиям, особенно в ситуациях, требующих немедленного вмешательства. Программа, разработанная для обработки данных, минимизирует временные затраты за счёт автоматизации преобразования двоичных данных в текстовый и графический форматы, а также за счёт интеграции с базой данных для быстрого доступа к информации.

Человек-оператор взаимодействует с программой через графический интерфейс, который включает интерактивные элементы взаимодействия. Важно отметить, что интерфейс спроектирован с учётом необходимости сокращения времени на принятие решений. Например, возможность масштабирования графика, его сохранения в формате PNG или печати позволяет оператору быстро документировать и анализировать данные без дополнительных временных затрат. Кроме того, функция добавления нескольких параметров на одно графиче-

ское поле упрощает сравнение данных, что особенно важно при анализе сложных систем.

Временной фактор является определяющим в процессе взаимодействия оператора с программой. Телеметрическая информация, поступающая с космического аппарата, часто требует немедленной реакции, особенно в случаях обнаружения аномалий или нештатных ситуаций. Программа обеспечивает оператора инструментами для быстрого доступа к данным, их интерпретации и принятия решений. Например, текстовое поле с информацией о параметре позволяет оператору мгновенно оценить текущее состояние системы, а графическое представление данных помогает выявить тенденции или отклонения за минимальное время, то есть симбиоз буквенно-цифровой и графической информации дает значительный эргономический выигрыш.

Эффективность контура человеко-ориентированной системы в данном случае напрямую зависит от скорости обработки и отображения информации. Любая задержка может привести к потере актуальности данных, что особенно критично в условиях ограниченного времени сеансов связи с космическим аппаратом. Таким образом, программа не только выполняет функцию обработки данных, но и выступает в роли инструмента, оптимизирующего временные затраты оператора.

Заключение

Проведенное исследование демонстрирует ключевые аспекты обработки и визуализации телеметрических данных космических аппаратов, уделяя особое внимание оптимизации взаимодействия человека-оператора с программным обеспечением. Разработанная система обеспечивает преобразование двоичных данных в удобные для анализа текстовые и графические форматы, что значительно сокращает время принятия решений. Критическая зависимость от временного фактора подчеркивает необходимость минимизации задержек на всех этапах обработки, от передачи данных до их отображения.

Анализ эффективности визуализации различных типов телеметрических данных показал, что параметры типа Double обладают наибольшей эффективностью для отображения на экранах коллективного пользования благодаря возможности их представления в виде единого графика. Это снижает когнитивную нагрузку на операторов и ускоряет процесс интерпретации информации. Другие типы данных, такие как Long, Code и Point, также играют важную роль, но требуют дополнительных методов визуализации для сохранения высокой скорости восприятия.

Интеграция с базой данных на основе СУБД MySQL обеспечивает надежное хранение и быстрый доступ к обработанной телеметрической информации. Использование селективных запросов позволяет оперативно извлекать необходимые данные, что особенно важно в условиях ограниченного времени сеансов связи с космическим аппаратом. Программный интерфейс, включающий функции масштабирования, сохранения и сравнения данных, дополнительно оптимизирует процесс анализа.

В целом, исследование подтверждает, что эффективное управление космическими аппаратами требует не только точной обработки телеметрических данных, но и продуманного взаимодействия между техническими системами и операторами, а, именно, речь о эффективном или высокопроизводительном информационном взаимодействии основных коммуникантов информационной системы. Разработанные решения демонстрируют значительный потенциал для дальнейшего совершенствования, включая внедрение более сложных алгоритмов визуализации и методов машинного обучения для автоматического выявления аномалий. Это позволит еще больше сократить временные затраты и повысить надежность управления космическими миссиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типы телеметрических систем // Лекции по телеметрическим системам [Электронный ресурс] URL: https://lms.kgeu.ru/pluginfile.php?file=%2F43198%2Fmod_resource%2Fcontent%2F1%2F%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8%20%D0%BA%20%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8E%201.docx (дата обращения: 22.02.2025).
2. Types of Databases in System Design // Geeksforgeeks [Электронный ресурс] URL: https://www.geeksforgeeks.org/types-of-databases-in-system-design/ (дата обращения: 21.02.2025).
3. MySQL Documentation // MySQL [Электронный ресурс] URL: https://dev.mysql.com/doc/ (дата обращения: 21.02.2025).

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.11

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ В АДВОКАТСКОЙ ПРАКТИКЕ: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

OPTIMIZATION OF INFORMATION FLOW MANAGEMENT IN A LAWYER'S PRACTICE: A SYSTEMATIC APPROACH

M. Danilova

Summary. The relevance of the research is determined by the need for systemic optimization of information processes in the advocate's activity in the conditions of digital transformation of the legal space. The intensive growth of the volume of legal information and tougher requirements to the quality of legal services reveal the need for methodologically sound approaches to the organization of professional work. This article considers the application of IDEF0 methodology for modeling and improving the information activity of a lawyer, which allows overcoming the traditional limitations associated with unstructured data, significant time costs and confidentiality requirements. The scientific novelty of the study lies in the development of a comprehensive model that integrates system analysis with practical solutions to automate legal activities.

Keywords: system analysis, process automation, IDEF0 methodology, Legal practice.

Данилова Мария Анатольевна
кандидат социологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовская государственная юридическая академия»
dory@rambler.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью системной оптимизации информационных процессов в адвокатской деятельности в условиях цифровой трансформации правового пространства. Интенсивный рост объема правовой информации и ужесточение требований к качеству юридических услуг выявляют потребность в методологически обоснованных подходах к организации профессиональной работы. В данной статье рассматривается применение методологии IDEF0 для моделирования и совершенствования информационной деятельности адвоката, что позволяет преодолеть традиционные ограничения, связанные с неструктурированностью данных, значительными временными затратами и требованиями конфиденциальности. Научная новизна исследования заключается в разработке комплексной модели, интегрирующей системный анализ с практическими решениями по автоматизации юридической деятельности.

Ключевые слова: системный анализ, автоматизация процессов, методология IDEF0, адвокатская деятельность.

Информационные процессы адвоката представляют собой профессионально организованную систему циркуляции правовой информации, направленную на эффективную реализацию задач юридической деятельности. В рамках данной системы осуществляется целенаправленное преобразование информационных ресурсов в юридически значимые решения через последовательность взаимосвязанных когнитивных и процедурных операций. Сущностной характеристикой этих процессов выступает их двойственная природа, сочетающая строгую нормативную регламентацию с необходимостью творческой интерпретации правового материала.

Содержательное наполнение информационных процессов адвоката детерминировано спецификой профессиональной деятельности, предполагающей работу с формализованными данными правового характера. К ним относятся нормативные предписания, судебные акты, доказательственные материалы и иные сведения, имеющие юридическое значение. Хранение, обработка, получение и передача такой информации является неотъемлемой частью профессиональной деятельности адвоката и занимает значительную долю его рабочего времени [1, с. 158]. Преобразование указанной информации осуществляется в строгом соответствии с процессуальными требованиями и стандартами профессиональной этики, что обеспечивает легитимность принимаемых решений.

Функционирование системы информационных процессов характеризуется выраженной цикличностью, предполагающей последовательное прохождение стадий идентификации, анализа, синтеза и презентации правовой информации. На каждом этапе происходит качественная трансформация исходных данных, направленная на выработку оптимальной правовой позиции. Особое значение приобретают механизмы верификации информации, обеспечивающие достоверность используемых сведений и их соответствие актуальному состоянию правового регулирования.

Современное развитие информационных процессов в адвокатской деятельности характеризуется усилением влияния цифровых технологий, что проявляется в автоматизации отдельных операций и расширении возможностей работы с большими массивами правовых данных

[2]. Однако ключевая роль в системе по-прежнему принадлежит профессиональному правосознанию адвоката, выступающему основным фильтром и интерпретатором юридически значимой информации.

Ключевые проблемы организации информационных процессов в адвокатской деятельности обусловлены комплексом взаимосвязанных факторов, существенно влияющих на эффективность профессиональной работы [3]. Одной из наиболее значимых трудностей выступает неструктурированность исходных данных, проявляющаяся в отсутствии единых стандартов формализации правовой информации. Разрозненность источников, вариативность форм представления судебных актов и нормативных положений, а также противоречивость правовых позиций создают существенные препятствия для системного анализа и синтеза юридически значимых сведений. Данная проблема усугубляется динамичным характером правового регулирования, требующим постоянного мониторинга и актуализации информационной базы.

Существенным ограничивающим фактором выступают значительные временные затраты, связанные с необходимостью ручной обработки больших массивов информации. Традиционные методы работы с правовыми данными, основанные на последовательном изучении и сопоставлении разрозненных источников, не соответствуют современным требованиям оперативности оказания юридической помощи. Особую остроту данная проблема приобретает в условиях процессуальных сроков, когда необходимость тщательного анализа конфликтует с требованиями своевременного представления правовой позиции.

Вопросы обеспечения конфиденциальности составляют отдельный комплекс проблем информационного характера [4]. Профессиональная деятельность адвоката предполагает обработку сведений, составляющих охраняемую законом тайну, что накладывает особые требования на организацию информационных процессов. Недостаточный уровень защиты данных в используемых программных решениях, риски несанкционированного доступа при дистанционном взаимодействии, а также сложности контроля распространения информации в цифровой среде создают существенные угрозы соблюдению адвокатской тайны. При этом технологические решения, направленные на повышение безопасности, зачастую вступают в противоречие с требованиями удобства и оперативности работы. Указанные проблемы носят системный характер и требуют комплексного подхода к их разрешению.

Для построения целостной модели управления информационными процессами воспользуемся методологией IDEF0 — методологией структурного анализа и проектирования, представляющей собой совокупность методов, правил и процедур, предназначенных для построения функциональной модели системы [5, 6]. Метод IDEF0 обладает значительным потенциалом для системного анализа юридических процессов в силу своей концептуальной строгости и структурной завершенности. Ключевое преимущество данного подхода заключается в его способности обеспечить целостное представление о процессе информационной деятельности адвоката через формализованное описание функциональных взаимосвязей между элементами системы. Методологическая ценность IDEF0 для юридической сферы определяется возможностью одновременного отражения как процессуальной динамики, так и статических структурных характеристик профессиональной деятельности.

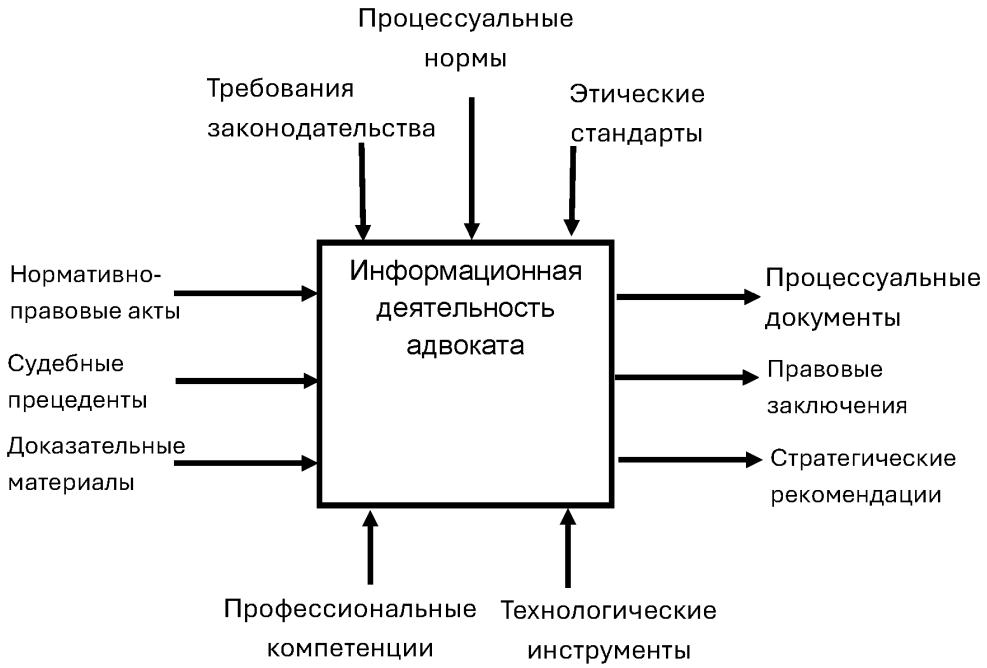
Построение функциональной модели

Функция: «Информационная деятельность адвоката» (см. схему ниже).

Функция «Информационная деятельность адвоката» в контексте IDEF0-моделирования представляет собой системообразующий элемент профессиональной практики, интегрирующий когнитивные, процедурные и технологические аспекты работы с правовой информацией. Данная функция концептуализируется как целенаправленный процесс преобразования входных информационных ресурсов в юридически значимые выходные продукты через последовательность профессионально регламентированных операций. Сущностной характеристикой данной функции выступает ее трансформационная природа, где необработанные правовые данные приобретают качественно новое состояние в виде аргументированной правовой позиции, процессуальных документов или стратегических рекомендаций.

Компоненты информационной деятельности адвоката в рамках IDEF0-модели представляют собой структурные элементы системы, находящиеся в динамическом взаимодействии и обеспечивающие преобразование правовой информации. *Входные данные* включают нормативно-правовые акты, судебные прецеденты и доказательственные материалы, которые подвергаются профессиональной интерпретации.

Модельное представление данной функции в методологии IDEF0 предполагает четкое определение граничных условий ее реализации. В качестве *управляющих воздействий* выступают нормативно-правовые регуляторы, включая процессуальное законодательство, стандарты профессиональной этики и требования к адвокатской тайне. Эти нормативные рамки детерминируют допустимые параметры преобразования информации, обеспечивая соответствие результатов деятельности



законодательным требованиям и профессиональным стандартам.

Технологическая реализация рассматриваемой функции подразумевает использование специализированных инструментальных средств, выступающих в модели в качестве механизмов преобразования. Современные информационно-аналитические системы, базы правовых данных и автоматизированные рабочие места формируют технологическую инфраструктуру, обеспечивающую эффективное выполнение функции. При этом сохраняется определяющая роль профессиональных когнитивных навыков адвоката, включающих аналитические способности, юридическое мышление и искусство аргументации, которые не могут быть полностью формализованы в рамках технологических решений.

Выходные продукты системы воплощаются в процессуальных документах, правовых заключениях и стратегических рекомендациях, обладающих юридической силой и практической значимостью.

Особое значение приобретает механизм *обратной связи*, позволяющий корректировать процесс обработки информации в соответствии с изменяющимися внешними условиями и новыми входящими данными. *Обратная связь* в системе информационной деятельности адвоката выступает как механизм адаптивного управления, обеспечивающий динамическую корректировку профессиональной стратегии на основе поступающих внешних сигналов. Реакция судебных инстанций, выраженная в промежуточных определениях или итоговых решениях, формирует содержательную основу для пересмотра правовой позиции, требуя переоценки аргументации и доказательственной базы. Аналогичным образом обратная связь от клиента, отражающая изменение обстоятельств дела или новые целевые установки, инициирует переконфигурацию информационных процессов. Данный механизм реализуется через постоянный мониторинг и реинтерпретацию входящих данных, что позволяет сохранять актуальность и обоснованность юридической позиции в условиях изменяющейся процессуальной ситуации.

Функционирование этого механизма основано на принципе информационной рекурсии, когда выходные продукты системы (правовые позиции, процессуальные документы) через реакции внешней среды трансформируются во входные параметры для последующих итераций обработки. Особую значимость данный процесс приобретает в условиях состязательного процесса, где эффективность профессиональной деятельности напрямую зависит от способности оперативно интегрировать новую информацию в существующую стратегию защиты. Качественное отличие адвокатской деятельности от иных форм юридической работы проявляется именно в этой способности к рефлексивному переосмыслению позиции без ущерба для системности и последовательности аргументации.

Особенностью данной системы компонентов является их взаимозависимый характер, где изменение одного элемента неизбежно влияет на функционирование всей системы. Нормативные требования определяют допустимые методы работы с входными данными, профессиональные компетенции обусловливают эффективность использования технологических инструментов, а качество выходных продуктов зависит от слаженного

взаимодействия всех компонентов. Динамическое равновесие между этими элементами обеспечивает устойчивость системы в условиях изменяющегося правового ландшафта и растущих требований к качеству юридических услуг.

Структурная декомпозиция данной функции в IDEF0-модели позволяет выявить и формализовать ключевые подпроцессы, такие как верификация источников права, анализ судебной практики, синтез правовой позиции и подготовка процессуальных документов. Каждый из этих подпроцессов характеризуется собственными входами, выходами и управляющими воздействиями, сохраняя при этом интеграционную связь с общей системой информационной деятельности.

Проведенный анализ IDEF0-модели информационной деятельности адвоката позволил идентифицировать ключевые узкие места, снижающие эффективность профессиональной работы, и предложены решения (Таблица).

Таблица 1.

Оптимизация информационной деятельности адвоката

Категория	Проблема	Решение
Входные данные	Ручной сбор судебных прецедентов из разных источников → задержки	Автоматизированный сбор через API судебных баз («Правосудие», «ГАС РФ»)
	Неактуальные версии нормативных актов	Подключение сервисов мониторинга (Консультант+, Гарант) с уведомлениями
Управление	Частые изменения законодательства → риск использования устаревших норм	Настройка автоматических оповещений о поправках в законах
	Риск утечки конфиденциальных данных	Внедрение шифрования и двухфакторной аутентификации в CRM
Обработка	Ручной анализ документов → высокие временные затраты	Использование AI-ассистентов (ChatGPT для проверки аргументов)
	Ошибки в составлении процессуальных документов	Шаблоны с автозаполнением и валидацией полей
Хранение	Трудоемкий поиск аналогов дел в архивах	Внедрение семантического поиска по базе прецедентов
Обратная связь	Задержки в реакции клиента/суда → несвоевременная корректировка стратегии	Чат-бот для регулярного взаимодействия с клиентом
	Субъективная оценка перспектив дела	Аналитика судебной практики через системы прогнозирования (например, Casebook)
Выходные данные	Ручная подготовка исков и ходатайств	Генерация документов через шаблоны с интеграцией в электронное правосудие

Наиболее существенным ограничением выступает фрагментарность информационных потоков, проявляющаяся в отсутствии единых стандартов формализации правовых данных. Разнородность источников судебной практики и нормативных актов, а также отсутствие унифицированных протоколов их обработки создают избыточную когнитивную нагрузку и увеличивают временные затраты на подготовку процессуальных документов.

Отдельную группу проблем составляют риски, связанные с обеспечением конфиденциальности на различных этапах информационного обмена. Существующие технологические решения не всегда учитывают специфику адвокатской тайны, что создает потенциальные уязвимости в процессе передачи и хранения защищаемой информации. Выявленные узкие места демонстрируют необходимость комплексной оптимизации как технологических, так и методологических аспектов организации информационной деятельности в юридической практике.

В рамках совершенствования информационной деятельности адвоката предлагается комплекс мер, направленных на преодоление выявленных системных ограничений. Основу оптимизационного подхода составляет внедрение интеллектуальных систем анализа правовых данных, способных автоматизировать процессы выявления юридически значимых паттернов в массивах судебной практики и нормативного материала. Разработка специализированных алгоритмов машинного обучения с учетом отраслевой специфики позволит сократить временные затраты на первичную обработку информации при сохранении контроля со стороны профессионала за итоговыми выводами.

Существенный потенциал оптимизации связан с созданием интегрированных платформ управления юридическими знаниями, объединяющих функционал CRM-систем с возможностями семантического анализа правовых документов. Реализация модуля автоматизированной валидации изменений законодательства обеспечит своевременное обновление нормативной базы, минимизируя риски использования устаревших правовых позиций. При этом особое внимание необходимо

уделить архитектуре защищенных каналов передачи данных, соответствующих требованиям профессиональной тайны и стандартам информационной безопасности.

Ключевым аспектом предлагаемых решений выступает сохранение баланса между автоматизацией рутинных операций и необходимостью сохранения экспертного контроля над содержательными аспектами юридической работы. Внедрение адаптивных интерфейсов, учитывающих когнитивные особенности профессиональной деятельности, позволит гармонично интегрировать технологические решения в существующие рабочие процессы без радикальной ломки устоявшихся практик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусятников П.П., Гусятникова П.П. Информационная безопасность деятельности адвоката и адвокатская тайна // Евразийская адвокатура. 2016. № 2. С. 158–162.
2. Халидов А.А., Муцалов С.И. Использование больших данных и ИИ в юридической практике: новые возможности и риски // Вопросы российского и международного права. 2024. Том 14. № 9А. С. 357–361.
3. Понкин И.В., Редькина А.И. Цифровая формализация права //International Journal of Open Information Technologies. 2019. Т. 7. № 1. С. 39–48.
4. Чистяков Н.С. Влияния процессов цифровизации на институт адвокатской тайны // Научные высказывания. 2024. №10 (57). С. 60–63. URL: https://nvjournal.ru/article/ Vlijanija_protsessov_tsifrovizatsii_na_institut_advokatskoj_tajny
5. Петрова И.Р. Методология функционального моделирования IDEF0/ И.Р. Петрова, Р.Х. Фахртдинов, А.А. Сулейманова. — Казань: Казан. ун-т, 2018. — 68 с.
6. Оразбаев Б.Б., Курмангазиева Л.Т., Коданова Ш.К. Теория и методы системного анализа: учеб. пособие. — М.: Изд. дом Академии естествознания, 2017. — 248 с.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.12

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОФИЛИРОВЩИКА SCALENE[1]

SOFTWARE OPTIMIZATION USING THE SCALENE PROFILER

V. Egunov
V. Zybin
I. Poluhin

Summary. The article discusses the use of the Scalene profiler for optimizing Python software. The key features of Scalene are analyzed, including profiling CPU, GPU, and memory usage, as well as its unique feature — automatic recommendations for optimizing code based on artificial intelligence. A comparison is made with traditional profiling tools (such as cProfile, line_profiler, and memory_profiler), demonstrating the advantages of Scalene in accuracy and detail of analysis. Special attention is paid to integration with OpenAI ChatGPT to generate optimized code.

Keywords: profiling, optimization, python, scalene, artificial intelligence, cpu, gpu, performance.

Егунов Виталий Алексеевич
к.т.н., доцент, Волгоградский государственный технический университет
vegunov@mail.ru
Зыбин Валерий Андреевич
Волгоградский государственный технический университет
vazybin@mail.ru
Полухин Игорь Дмитриевич
Волгоградский государственный технический университет
poluxin.2001@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение профилировщика Scalene для оптимизации программного обеспечения на языке Python. Анализируются ключевые возможности Scalene, включая профилирование использования CPU, GPU и памяти, а также его уникальную функцию — автоматические рекомендации по оптимизации кода на основе искусственного интеллекта. Проводится сравнение с традиционными инструментами профилирования (такими как cProfile, line_profiler и memory_profiler), демонстрируя преимущества Scalene в точности и детализации анализа. Особое внимание уделено интеграции с OpenAI ChatGPT для генерации оптимизированного кода.

Ключевые слова: профилирование, оптимизация, python, scalene, искусственный интеллект, cpu, gpu, производительность.

Введение

В современном мире вычислительная мощность играет ключевую роль во многих областях, от научных исследований до бизнеса и развлечений. С ростом требований к производительности программного обеспечения, оптимизация становится все более важной задачей [1, 2], исследуются вопросы оптимизации под конкретные аппаратные платформы [3, 4] . Одним из инструментов, используемых в процессе оптимизации, является профилировщик. Профилировщик представляет собой инструмент, который анализирует работу программы и предоставляет информацию о ее поведении и использовании ресурсов. Профилирование помогает разработчикам выявлять узкие места (участки кода, которые замедляют выполнение программы) в работе программы и оптимизировать ее для лучшей производительности.

Однако традиционные инструменты профилирования могут быть неэффективными или даже бесполезными, так как они не всегда способны точно идентифицировать узкие места и предложить конкретные рекомендации по оптимизации. В статье рассматривается профилировщик «CPU+GPU+Memory» для языка программирования Python, который предлагает новый подход к профилированию с использованием искусственного интеллекта. Мы начнем с обзора профилировщика Scalene [5] и его возможностей. Затем рассмотрим, как использовать этот инструмент для профилирования программ на Python, сосредоточившись на оптимизации с применением искусственного интеллекта. Наконец, предложим некоторые рекомендации по оптимизации на основе нашего анализа данных, полученных с помощью профилировщика.

Преимущества использования профилировщика в современной разработке

Профайлинг представляет собой процесс анализа программы с целью определения её свойств, особенностей и характеристик. Основной целью профайлинга яв-

[1] Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-20073, https://rscf.ru/project/25-21-20073

ляется получение детальной информации о работе программы, её внутреннем устройстве и взаимодействии с другими программами и системами.

Профайлинг позволяет разработчикам получить подробную информацию о производительности программы, её функциональности и надёжности. С помощью профайлинга можно выявить узкие места в работе программы, оптимизировать её работу и улучшить качество продукта. Профайлинг также помогает разработчикам в проектировании программ, предоставляя им информацию о том, как программа взаимодействует с другими компонентами системы. Это позволяет разработчикам лучше понимать, какие изменения нужно внести в программу, чтобы она работала более эффективно и безопасно.

Кроме того, профайлинг может использоваться для выявления ошибок и недостатков в работе программы. Например, он может помочь определить, какие функции программы вызывают наибольшее количество ошибок или задержек в работе. Это позволяет разработчикам быстро исправлять эти проблемы и улучшать качество продукта.

Обзор аналогов Scalene

Для языка Python существует несколько средств профилирования [6–9], которые могут быть использованы для анализа производительности программ и выявления узких мест в их работе. Некоторые из них включают в себя:

- CProfile: встроенный в Python модуль для профилирования производительности.
- line_profiler: сторонний инструмент для профилирования производительности.
- memory_profiler: сторонний инструмент для профилирования использования памяти.
- Pyflame: инструмент для профилирования производительности, использующий технологию flamegraph (визуальное представление профиля выполнения программы, которое показывает, какие функции занимают больше всего времени и как они взаимодействуют друг с другом).
- Instrumentation: инструмент профилирования, который позволяет разработчикам добавлять метки и аннотации в код программы.

Профилирование центрального и графического процессора с помощью Scalene

Scalene — это высокопроизводительный профилировщик для анализа производительности ЦП, графического процессора и памяти для Python, который обладает уникальными возможностями, отсутствующими у других аналогичных инструментов. Он работает на несколько порядков быстрее, чем многие другие профилировщики, предоставляя при этом гораздо более подробную информацию. Кроме того, это первый инструмент, в котором реализованы предложения по оптимизации на основе искусственного интеллекта.

Scalene отделяет время, потраченное на выполнение кода Python, от времени, проведенного в собственном коде (включая библиотеки). Это позволяет разработчикам сосредоточиться на оптимизации тех частей кода, которые они действительно могут улучшить, так как большинство программистов Python не занимаются оптимизацией производительности собственного кода, который обычно находится либо в реализации Python, либо во внешних библиотеках. Scalene выделяет «горячие точки» (код, на который приходится значительный процент процессорного времени или выделенной памяти). Scalene также выделяет системное время, что упрощает поиск узких мест ввода-вывода.

Профилирование памяти с помощью Scalene

Scalene анализирует использование ресурсов памяти. Помимо отслеживания использования ЦП, Scalene также указывает на конкретные строки кода, отвечающие за рост потребления ресурсов. Это достигается с помощью встроенного специализированного распределителя. Scalene разделяет процент памяти, потребляемых кодом Python, по сравнению с собственным кодом. Scalene создает построчные профили использования ресурсов. Также данный инструмент идентифицирует строки с вероятными утечками. Scalene отслеживает объем копирования данных, что позволяет легко обнаружить непреднамеренное копирование, особенно из-за пересечения границ между Python и библиотеками (например, случайное преобразование массивов numpy в стандартные массивы Python и наоборот). Рассмотрим простой пример профилирования памяти с помощью Scalene. Для этого создадим файл со следующим содержимым:

```
def allocate_large_list():
    large_list = [i for i in range(1000000)]
    return large_list

def main():
    list1 = allocate_large_list()
    list2 = allocate_large_list()
    # Создадим подмножество
    subset_list = list1[:10000]

    # Не освобождает память для демонстрации работы профилирования памяти.

if __name__ == «__main__»:
    main()
```

Scalene выделит строки, где создаются large_list, и покажет, что они ответственны за значительное выделение памяти. На рисунке ниже представлен консольный вывод Scalene. В отчете можно наблюдать за графой timeline/%. Этот показатель указывает использования памяти этой строкой кода на протяжении выполнения программы и процент от общего использования памяти.

Сравнение Scalene с другими профилировщиками

Scalene обладает всеми перечисленными ниже функциями, многие из которых поддерживаются только Scalene:

Таблица 1.

Функции и уникальные возможности профилировщика Scalene

Функция	Описание	Уникальность
Потоки	Поддерживает потоки Python.	–
Многопроцессорность	Поддерживает использование библиотеки многопроцессорности.	+
Время Python по сравнению с C	Время, потраченное на Python, сравнивается с собственным кодом (например, библиотеками).	+
Системное время	Отображает системное время (например, сон или выполнение ввода-вывода).	+
Память профилей	Сообщает о потреблении памяти на строку/функцию.	
Графический процессор	Сообщает о времени, затраченном на графический процессор NVIDIA (если имеется).	+
Тенденции памяти	Сообщает об использовании памяти с течением времени для каждой строки/функции.	+
Объем копирования	Сообщает о копировании мегабайт в секунду. Обнаруживает утечки: автоматически определяет строки, ответственные за вероятные утечки памяти.	+

По заявлению разработчиков, после проведения множества тестов был составлен график, сравнивающий точность различных профилировщиков, измеряя процент времени, которое они сообщают, по сравнению с фактическим временем, затраченным на выполнение задачи. На оси X (горизонтальной) расположился фактический процент времени, затраченный на выполнение задачи, а на оси Y (вертикальной) процент времени, о котором сообщает профилировщик. Черная диагональная линия представляет идеальную точность, где процент времени, о котором сообщает профилировщик, точно

```
antipire@Antipire:~/PyCharm_projects$ python3 -m scalene --memory test.py
                    Memory usage: ▂▃▅▇ (max: 71.168 MB, growth rate: 100%)
/home/antipire/PyCharm_projects/test.py: % of time = 100.00% (264.181ms) out of 264.181ms.

       Time   ------ ------ Memory ------ ---------- Copy  /home/antipire/PyCharm_projects/test.py
Line   Python native system Python peak   timeline/%  (MB/s)
   1                                                        # memory_example.py
   2
   3                                                        def allocate_large_list():
   4    49%    11%    40%   100%   41M   ▂▃▅▇ 100%    66      large_list = [i for i in range(1000000)]
   5                                                            return large_list
   6
   7                                                        def main():
   8                                                            list1 = allocate_large_list()
   9                                                            list2 = allocate_large_list()
  10                                                            # Some operations with the lists (e.g.,
  11                                                            subset_list = list1[:10000]
  12
  13                                                            # Intentionally don't release list1 and
  14
  15                                                        if __name__ == "__main__":
  16                                                            main()
  17

   3    49%    11%    40%   100%   41M   ▇▇▇▇ 100%    66  function summary for /home/antipire/PyCharm…
                                                            allocate_large_list
Top AVERAGE memory consumption, by line:
(1)     4:    30 MB
Top PEAK memory consumption, by line:
(1)     4:    41 MB
```

Рис. 1. Консольный вывод Scalene

соответствует фактическому проценту времени. Точки, лежащие на этой линии, указывают на высокую точность профилировщика. Точки, соответствующие Scalene (черные треугольники), в основном лежат на зеленой линии или очень близко к ней, что указывает на высокую точность этого профилировщика. Точки же других профилировщиков разбросаны вокруг черной линии, что указывает на различную степень точности. Некоторые из них могут значительно отклоняться от идеальной линии, что свидетельствует о меньшей точности. График показывает, что Scalene является одним из самых точных профилировщиков, правильно измеряя время, затраченное на выполнение задач. Это подтверждается тем, что его точки находятся ближе всего к идеальной линии точности. На рисунке ниже представлена информация по точности работы Scalene.

Использование профилировщика Scalene

Scalene распространяется в виде пакета pip и работает на платформах Mac OS X, Linux (включая Ubuntu в Windows WSL2) и (с ограничениями) Windows. Версия для Windows в настоящее время поддерживает только профилирование ЦП и графического процессора, но не профилирование памяти или копирования.

Scalene предоставляет несколько способов запуска для профилирования Python-кода. Самым простым и распространенным методом является использование Scalene из командной строки с указанием Python-скрипта, который нужно профилировать. При этом Scalene запускает профилирование скрипта и по умолчанию выводит результаты в веб-интерфейсе, что обеспечивает удобный анализ данных о производительности. Альтернативно, можно использовать флаг --cli, чтобы получить вывод в командной строке, если графический интерфейс не требуется.

Как видно из рисунка 3, функция cpu_intensive_task занимает большую часть времени выполнения (41.9 %). Это видно по отметке около строки 9: result += i ** 2. Цветные полосы слева показывают вклад времени выполнения (темный оттенок — время, потраченное интерпретатором Python, светлый оттенок — нативное время выполнения кода, а синий цвет указывает на время, затраченное операционной системой).

Для более точного контроля над профилированием, Scalene позволяет выбирать, какие ресурсы следует отслеживать. С помощью флагов --cpu, --gpu и --memory можно ограничить профилирование только использованием CPU, CPU и GPU, или же включить все три типа ресурсов (CPU, GPU и память). Это особенно полезно, когда необходимо сосредоточиться на конкретной области оптимизации, например, на вычислениях на GPU или управлении памятью. Кроме того, Scalene предлагает опцию --reduced-profile, которая упрощает вывод, показывая только наиболее значимые строки кода с точки зрения использования ресурсов.

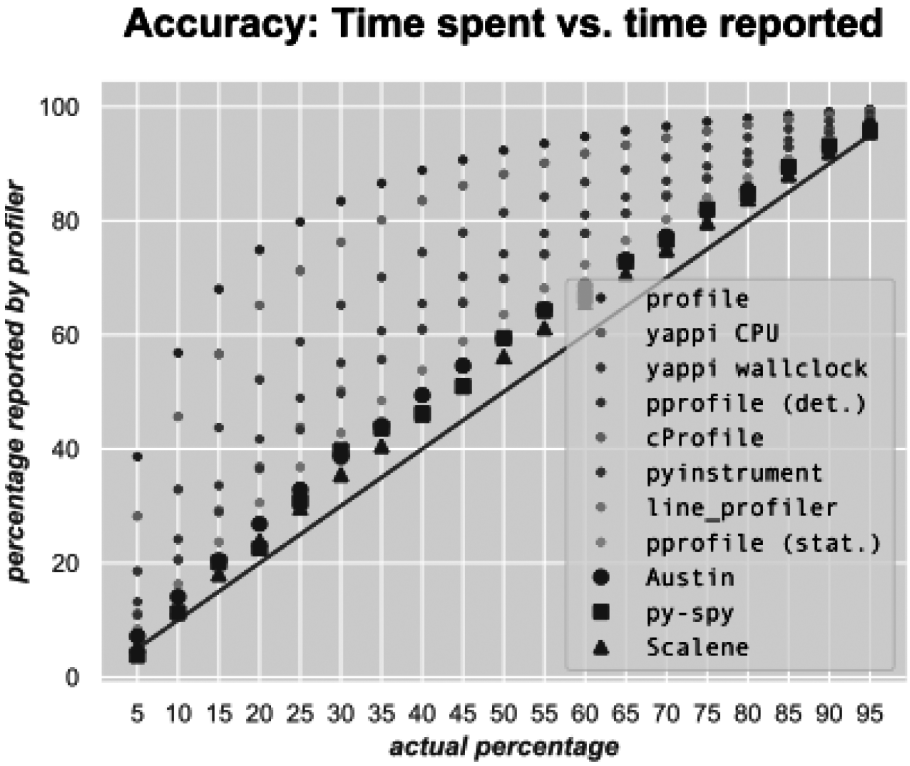


Рис. 2. Сравнение точности различных профилировщиков

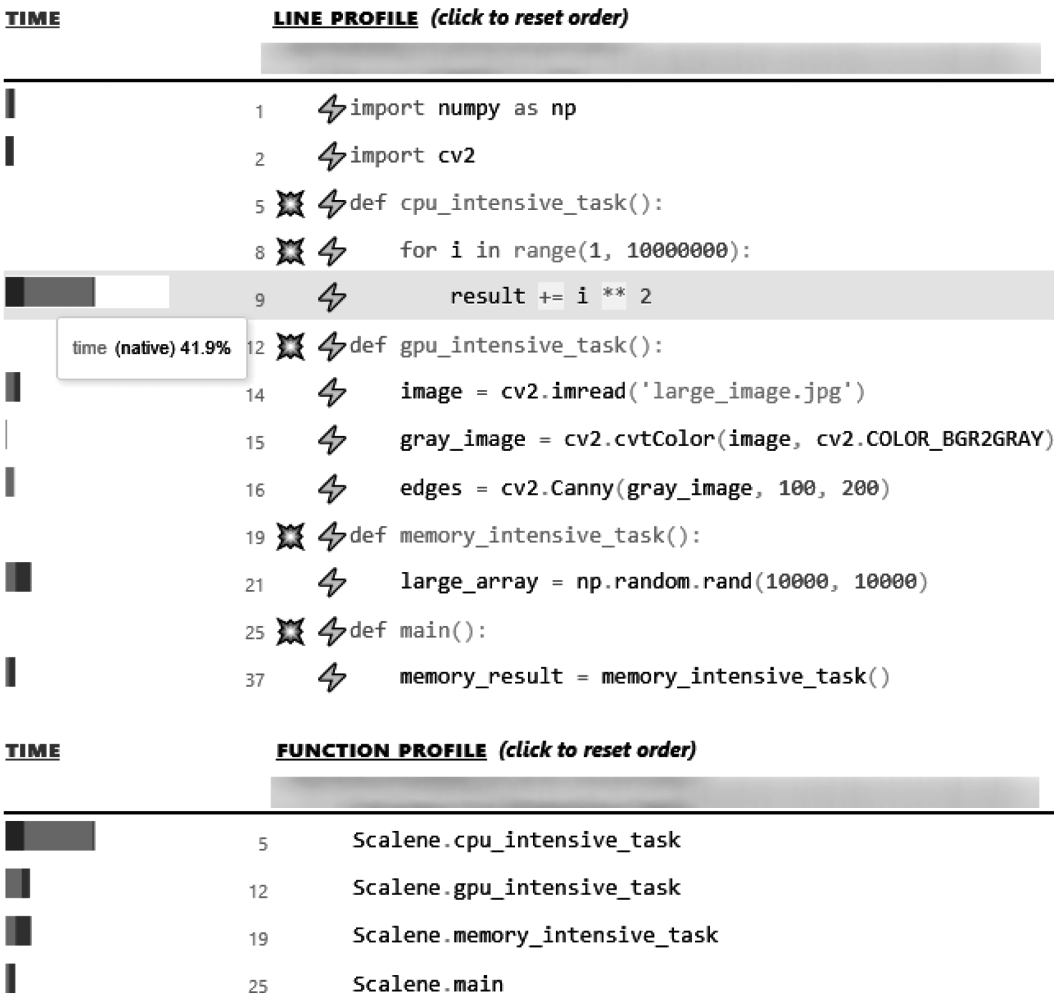


Рис. 3. WEB-интерфейс профилировщика Scalene

Данный профилировщик также предоставляет возможность мониторинга определенных функций в коде. Для этого достаточно добавить декоратор @profile перед определением функции. При запуске Scalene будет профилировать только эти функции, что позволяет изолировать и анализировать производительность конкретных участков кода. Этот метод особенно полезен при работе с большими проектами, где важно сузить область профилирования до критически важных функций.

Кроме того, Scalene можно использовать непосредственно внутри Python-кода. Это дает возможность запускать и останавливать профилирование в нужные моменты выполнения программы. Для этого необходимо импортировать модуль scalene.scalene_profiler и использовать функции start() и stop() для управления процессом профилирования. Такой подход позволяет гибко интегрировать Scalene в процесс разработки и автоматизировать сбор данных о производительности.

Как Scalene использует ИИ для оптимизации кода

Одной из ключевых особенностей Scalene, выделяющей его среди других профилировщиков, является интеграция с искусственным интеллектом для автоматического анализа кода и предложения оптимизаций. В последние годы искусственный интеллект все активнее используется для повышения качества проектируемого программного обеспечения. В отличие от традиционных инструментов, которые лишь указывают на узкие места, Scalene способен не только выявлять проблемы, но и предлагать конкретные способы их устранения, используя OpenAI ChatGPT. Для этого используется специальный запрос, в котором приводится только код без дополнительных объяснений. Код функции, которая отправляет запрос на сервера OpenAI выглядит следующим образом:

```
 async function sendPromptToOpenAI(prompt, len, apiKey) {
    const endpoint = «https://api.openai.com/v1/chat/completions»;
    const model = document.getElementById('language-model-openai').value;
    const body = JSON.stringify({
      model: model,
      messages: [
```

```
            {
              role: 'system',
             content: 'You are a Python programming assistant who ONLY responds with blocks of commented, optimized code. You never respond with text. Just code, starting with ``` and ending with ```.'
            },
            {
              role: 'user',
              content: prompt
            }
          ],
          user: «scalene-user»
        });
        console.log(body);
```

Системная инструкция, требующая от ChatGPT отвечать только блоком оптимизированного кода без пояснений, минимизирует «шум» в ответах и сразу предоставляет готовое решение. Это экономит время разработчика, поскольку не требует анализа многословных объяснений ИИ.

Однако у метода есть и существенные недостатки. Жёсткое ограничение на формат ответа («только код, без текста») может привести к потере важного контекста: например, ChatGPT не сможет предупредить о потенциальных побочных эффектах оптимизации или объяснить, почему одно решение лучше другого. Кроме того, зависимость от облачного API OpenAI создаёт проблемы с конфиденциальностью (код отправляется на сторонний сервер) и доступностью — в случае сетевых сбоев или блокировки API функциональность Scalene окажется ограниченной. Наконец, отсутствие диалога (ChatGPT не может уточнить детали задачи) иногда приводит к генерации некорректных или избыточных оптимизаций, особенно в сложных случаях. Также такой поход не гарантирует однозначный ответ от ChatGPT при повторной отправке запроса.

Предложения ИИ не всегда точны, иногда они носят общий характер или требуют дополнительной адаптации под конкретную задачу. Тем не менее, даже в таком виде эта функция экономит время разработчиков, направляя их внимание на потенциальные точки оптимизации.

Важно отметить, что Scalene не заменяет собой программиста, а скорее выступает в роли интеллектуального помощника. Он не применяет изменения автоматически, а лишь предоставляет варианты улучшений, оставляя окончательное решение за разработчиком. Такой подход снижает риски некорректных модификаций кода, сохраняя контроль над процессом оптимизации.

В будущем, с развитием локальных языковых моделей, подобные функции могут стать полностью автономными, не зависящими от внешних API. Уже сейчас Scalene демонстрирует, как искусственный интеллект может трансформировать рутинные задачи профилирования, делая процесс оптимизации более интерактивным и осмысленным.

Заключение

Оптимизация программного обеспечения с использованием Scalene открывает новые возможности для разработчиков, стремящихся улучшить производительность своих приложений. Scalene предоставляет детальную информацию о поведении программы, выявляет узкие места и предлагает конкретные рекомендации по оптимизации, что делает его незаменимым инструментом в арсенале любого профессионала. Благодаря инновационным функциям, таким как анализ использования ресурсов, отслеживание системного времени и идентификация утечек, Scalene значительно облегчает процесс оптимизации и позволяет разработчикам сосредоточиться на улучшении тех частей кода, которые действительно имеют значение. В будущем, с развитием технологий искусственного интеллекта, Scalene имеет потенциал стать еще более мощным и универсальным инструментом, способным решать самые сложные задачи оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aleti A., Buhnova B., Grunske L., Koziolek A., Meedeniya I. IEEE Transactions on Software Engineering. 2012. Vol. 39. No. 5. Pp. 658–683.
2. Новиков К.Д., Раскатова М.В. Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2021. № 1. С. 159–165.
3. Сесин И.Ю., Болбаков Р.Г. Russian Technological Journal. 2021. Т. 9. № 6. С. 7–15.
4. Егунов В.А., Марков А.Е., Скориков А.В., Тарасов П.С. Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2019. № 3 (47). С. 70–82.
5. Scalene: a Python CPU+GPU+memory profiler with AI-powered optimization proposals. 2023. URL: https://github.com/plasma-umass/scalene
6. The Python Profilers. Python Software Foundation. 2023. URL: https://docs.python.org/3/library/profile.html
7. line_profiler and kernprof. 2023. URL: https://github.com/pyutils/line_profiler
8. Memory Profiler. 2023. URL: https://github.com/pythonprofilers/memory_profiler
9. Pyinstrument. 2023. URL: https://github.com/joerick/pyinstrument

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.13

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИОННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ И ПРОСТРАНСТВОМ ЗАДАЧ ДЛЯ УЛУЧШЕННОГО ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ В ЧЕТЫРЕХШАРНИРНОМ МАНИПУЛЯТОРЕ

ANALYSIS AND COMPARISON CONTROL STRATEGIES OF CONFIGURATION SPACE AND TASK SPACE FOR ENHANCED TRAJECTORY TRACKING IN A FOUR-JOINT MANIPULATOR

Zeitoun Abdulfattah

Summary. This paper compares joint-level (configuration space) and the level of the final effect control (task space) for a four-joint manipulator. The joint-level method combines cascaded feedback, feedforward gravity compensation, and trajectory prediction, achieving precise joint tracking but accumulating end-effector deviations. The task space approach uses Jacobian-based inverse kinematics, reducing end-effector errors fivefold at higher computational cost. A hybrid architecture mitigates gravitational disturbances, notably in the second joint. Results guide strategy selection based on precision, resources, and environmental demands.

Keywords: configuration space control, task space control, trajectory tracking, Jacobian matrix, OpenManipulator-X.

Зейтун Абдулфаттах
Аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
zeytuna@student.bmstu.ru

Аннотация. В этой статье сравнивается управление на уровне шарнира (пространство конфигурации) и на уровне конечного эффекта (Пространство задач) для четырехсочлененного манипулятора. Метод пространство конфигурации объединяет каскадную обратную связь, компенсацию гравитации прямой связи и прогнозирование траектории, достигая точного отслеживания сочленений, но накапливая отклонения конечного исполнительного органа. Подход на пространстве задач использует обратную кинематику на основе Якобиана, уменьшая ошибки конечного исполнительного органа в пять раз при более высоких вычислительных затратах. Гибридная архитектура смягчает гравитационные возмущения, особенно во втором сочленении. Результаты направляют выбор стратегии на основе точности, ресурсов и требований окружающей среды.

Ключевые слова: управление пространством конфигураций, управление пространством задач, отслеживание траектории, матрица Якоби.

Введение

Манипуляторы, обладающие способностью выполнять разнообразные задачи в сложных окружающих условиях, играют ключевую роль в автоматизации производства, медицинской диагностике, обслуживании и других сферах человеческой деятельности.

Управление манипулятором является одной из ключевых задач, которая оказывает прямое влияние на точность, эффективность и безопасность выполнения задач. Для обеспечения высокой точности, надежности и адаптивности в различных ситуациях требуется разработка продвинутых методов управления.

Одной из важных задач в управлении манипулятором является достижение желаемой конечной позиции и ориентации рабочего инструмента. Для достижения этой цели применяются методы управления пространством конфигурации и пространством задачи.

Метод управления пространством конфигурации базируется на управлении скоростями или ускорениями сочленений манипулятора. Он позволяет легко перейти от задачи управления в пространстве задачи к задаче управления в пространстве конфигурации с помощью алгоритмов обратной кинематики. Однако этот метод может столкнуться с проблемами осцилляций, затруднений в управлении в случае вырожденных конфигураций и сложностью учета динамических ограничений [1–4].

Метод управления пространством задачи позволяет управлять положением, ориентацией и другими характеристиками инструмента робота. Он более интуитивен для оператора и позволяет более естественно задавать требуемые задачи. Для решения задачи обратной кинематики в этом методе используются методы численной оптимизации или алгоритмы, основанные на дифференциальной геометрии [4].

В ходе исследования использована модель манипулятора OpenManipulator x, так как информация о ней находится в открытом доступе (рис. 1).

Моделирование системы

Для расчета динамической мини-модели каждого шарнира как составляющей замедления первого поряд-

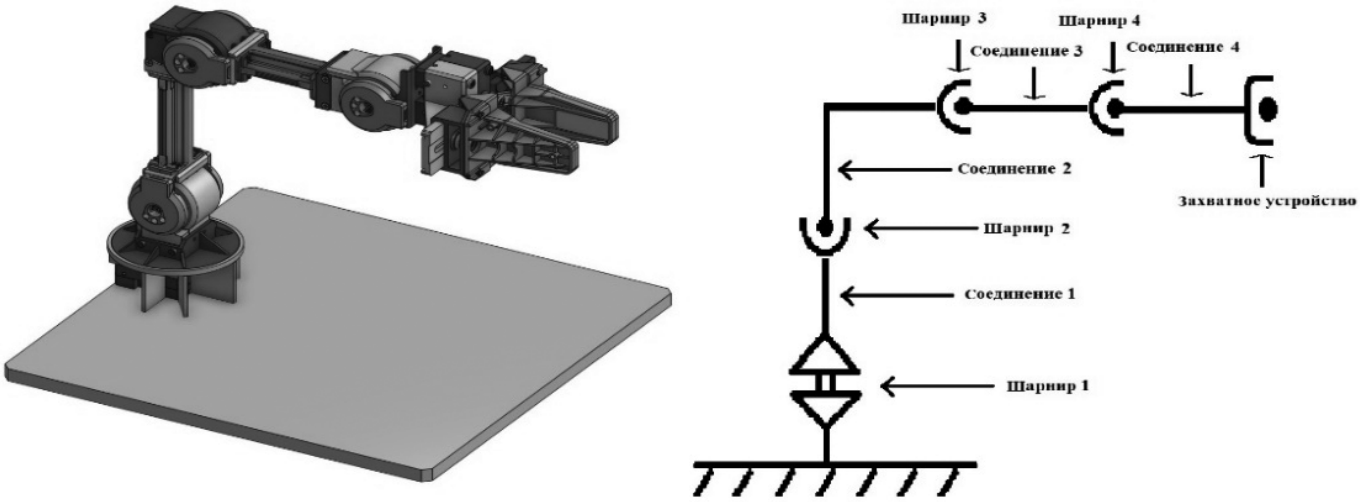


Рис. 1. Эскизная схема используемого манипулятора (OpenManipulator x)

ка (PT_1), будем использовать передаточную функцию PT_1 для описания динамического поведения каждого шарнира манипулятора.

Передаточная функция PT_1 имеет следующий вид:

$$G(s) = \frac{K}{(\tau s + 1)}$$

где: K — коэффициент усиления; τ — постоянная времени.

Рассмотрим мини-модель для каждого шарнира отдельно.

Шарнир 1 (θ_1): для первого шарнира можно записать динамическую мини-модель в форме передаточной функции PT_1:

$$G_{1(s)} = \frac{K_1}{(\tau_1 s+1)}$$

где: K_1 — коэффициент усиления для первого шарнира; τ_1 — постоянная времени для первого шарнира. Шарнир 2 (θ_2): для второго шарнира также используем передаточную функцию PT_1:

$$G_{2(s)} = \frac{K_2}{(\tau_2 s+1)}$$

И аналогично для остальных шарниров.

Изучение шума, вызванного гравитацией, и анализ его влияния на шарниры робота-манипулятора

С помощью следующего уравнения для динамической модели изучим силу, действующую на шарниры [4–6]:

$$\tau_{n*1} = \mathrm{M}_{n*n}(\mathrm{q}).\ddot{\mathrm{q}}_{n*1} + \mathrm{G}_{n*1}(\mathrm{q}) + \mathrm{f}_{n*1}(\mathrm{q},\dot{\mathrm{q}}).\dot{\mathrm{q}} + \mathrm{F}.\dot{\mathrm{q}}_{n*1}$$

Где: τ_{n*1} : Матрица моментов/сил для n подвижных шарниров.

$\mathrm{M}_{n*n}(\mathrm{q})$: матрица инерции.

$\mathrm{G}_{n*1}(\mathrm{q}) + \mathrm{f}_{n*1}(\mathrm{q},\dot{\mathrm{q}}).\dot{\mathrm{q}} + \mathrm{F}.\dot{\mathrm{q}}_{n*1}$**:** Матрица трения и заклинивания $\mathrm{B}(\mathrm{q},\dot{\mathrm{q}})$.

При изучении сил, действующих на шарниры робота-манипулятора, увидим, что наиболее эффективным искажением является вращательный момент силы тяжести.

Разработка контроллера прямой связи для компенсации шума во втором шарнире при помощи функций компенсации шума и предсказания пути

Чтобы воспользоваться всеми преимуществами, объединим обе архитектуры управления для создания гибридной архитектуры. Контроллер обратной связи состоит из каскадного контроллера, функция которого заключается в управлении скоростью и положением. Контроллер прямой связи состоит из двух частей: первая — $G_i^{-1}(s)$ — является регулятором для компенсации шума, вызванного гравитационным моментом, а второй, $D(s)_i$ — контроллер для улучшения отслеживания шарниров с помощью функции траектории (рис. 2).

Проиллюстрируем это на следующей диаграмме (см. рис. 2).

Используем каскадный контроллер в качестве контроллера обратной связи для управления скоростью и положением, а также контроллер для компенсации шума, вызванного гравитационным моментом. Используя MatLab, получаем следующие результаты (рис. 3–4):

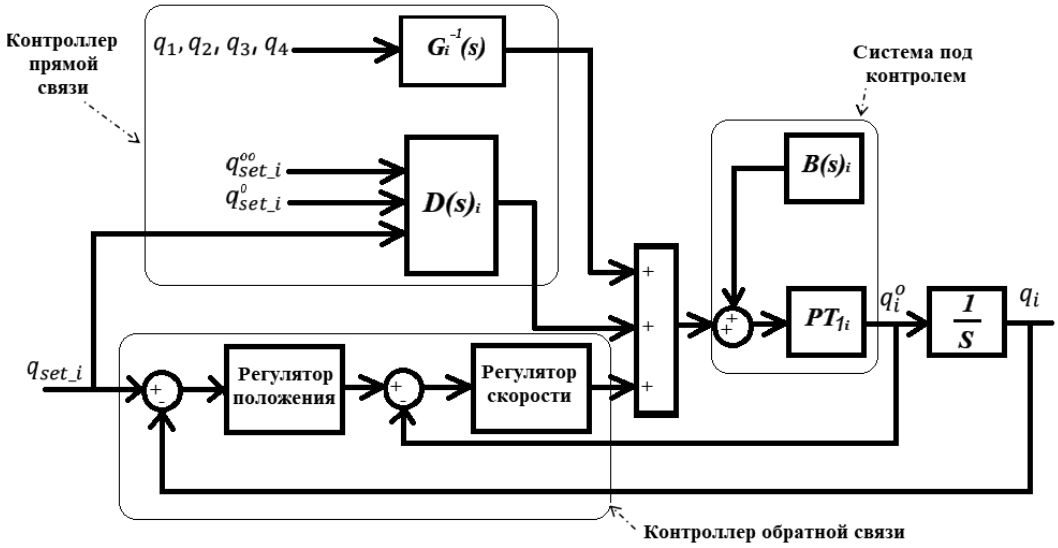


Рис. 2. Гибридный контроллер, который объединяет структуры управления вместе с использованием прямой и обратной связью

$B(s)_i$: внешний шум (гравитационный момент); PT_{1i} : динамическая модель каждого шарнира

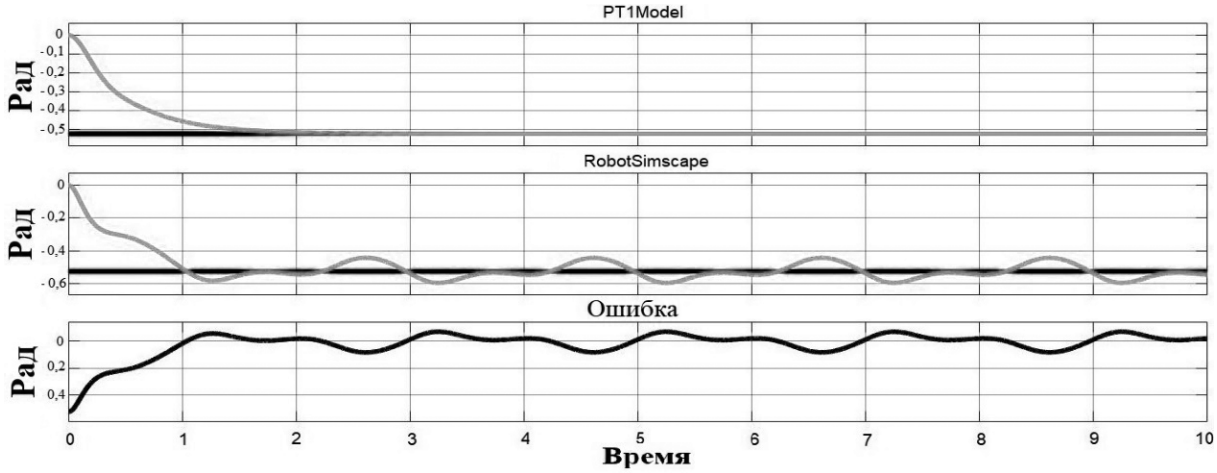


Рис. 3. Результаты с обратной связью каскадного регулятора без добавления функции компенсации шума второго шарнира

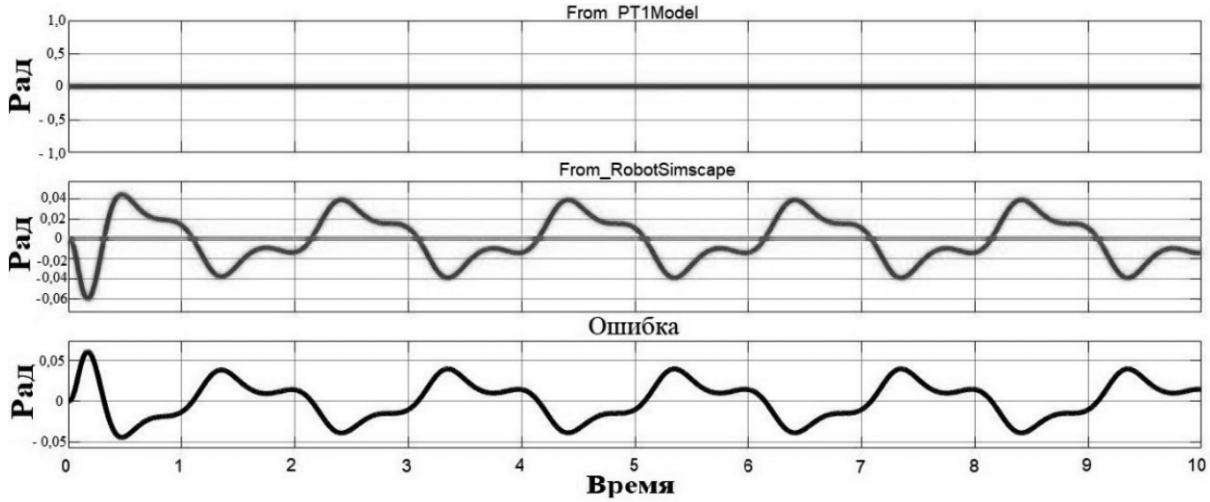


Рис. 4. Результаты с обратной связью каскадного регулятора, с добавлением функции шумоподавления второго шарнире в качестве регулятора фронтальной подачи

Хотя каскадный контроллер способен компенсировать искажение гравитации Земли, он был несколько медленным с этой компенсацией, что привело к тому, что на второй шарнир сильно повлияло движение третьего шарнира.

Когда динамическая инверсная гравитационная модель второго шарнира использовалась в качестве управления с компенсацией шума, влияние на второй шарнир из-за движения третьего шарнира в этом случае была намного меньше, чем в случае без функции прямого управления с компенсацией шума.

Добавление функции для прогнозирования траектории — Trajectory Estimation

Чтобы улучшить производительность контроллера и уменьшить ошибку отслеживания, добавим прямую связь для улучшения отслеживания, а затем запустим робота-манипулятора с четырьмя шарнирами, протестируем его и сравним результаты с требуемыми значениями.

В этом случае входным сигналом этого контроллера ($D(S)_i$) будет сигнал положения q, сигнал скорости $\dot{q}$ и сигнал ускорения $\ddot{q}$. Имея сведения о том, что в случае роботизированной руки движение выполняется путем предоставления полной информации о траектории в качестве эталонных значений для шарнира.

Т. е. сигнал скорости для маршрута, по которому нужно двигаться, готов, так же, как и сигнал местоположения перед началом движения. Например, у нас есть опорное значение (см. рис. 5).

При анализе опорного сигнала, показанного на (рис. 5), делаем вывод, что при проектировании системы управления необходимо соблюдать следующие требования:

Шарнир должен двигаться от нулевого угла до угла π рад в течение полутора секунд, принимая во внимание следующее:

без перерегулирования (перерегулирование = 0 %)

нет установившейся ошибки

Запас по фазе контура управления положением не менее 75°

Максимальная ошибка слежения запаса по фазе 0,2 рад

Ограничения конструкции:

Максимально доступный крутящий момент составляет 2 Н.м.

Максимальная скорость вращения шарнира в момент 2 Н.м составляет 2π рад/сек.

Таким образом, используем опорный сигнал скорости $(\dot{q}_{set})$ как вход для функции прогнозирования поведения, а его выход как опорный сигнал на внутренний контур управления каскадного контроллера (регулятор скорости). Значение контроллера $(D(S)_i)$ представляет собой значение от 0 до 1, которое умножается на опорный сигнал скорости. Путем моделирования в программе MatLab получаем следующие результаты (рис. 6).

Отметим, что максимальная ошибка отслеживания не превышает 0,2 радиана, свидетельствуя о том, что добавление функции прогнозирования поведения привело к хорошему снижению ошибки отслеживания, по сравнению с использованием только каскадного контроллера и функции компенсации шума.

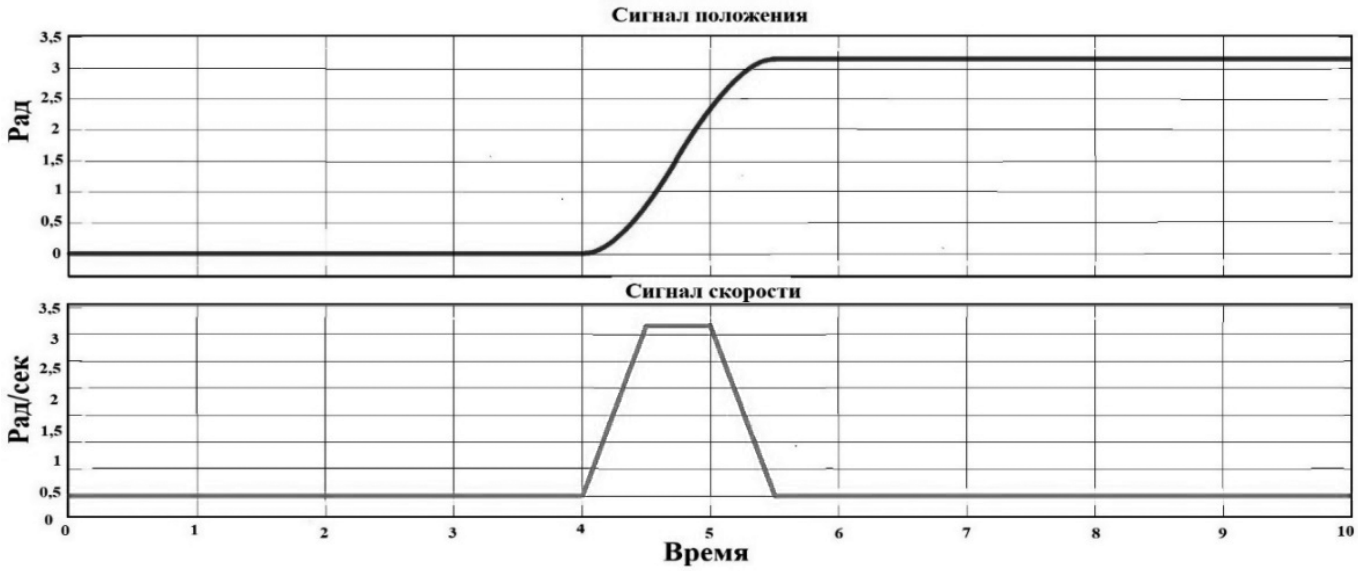


Рис. 5. Опорное значение, которое показывает скорость и положение шарнира

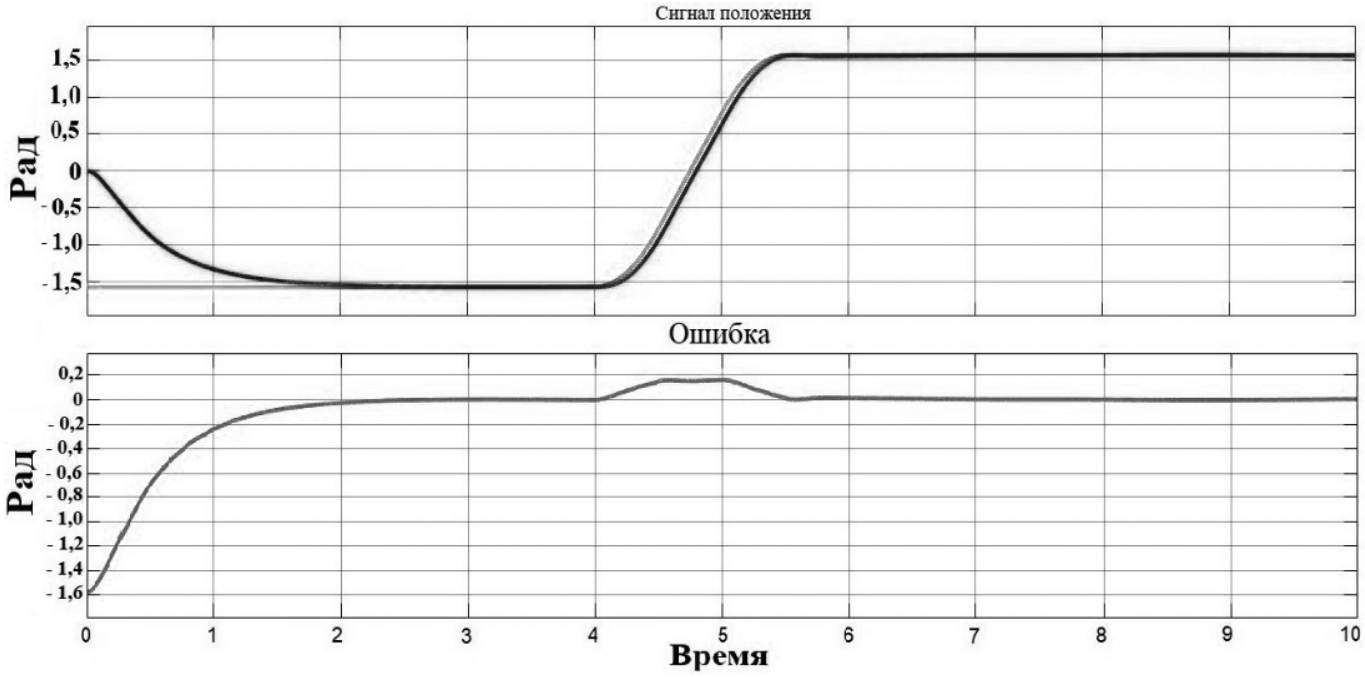


Рис. 6. Расположение второго шарнира относительно опорного сигнала и процент ошибки преследования после добавления функции прогнозирования поведения в качестве контроллера с прямой связью

Анализ и сравнение двух методов управления четырехшарнирнного робота-манипулятора

1. Управление на уровне шарнира — пространство конфигурации:

Применим полученный алгоритм управления к четырем шарнирам робота. как на (рис. 7).

Вход робота состоит из четырех управляющих сигналов, связанных с вращательными моментами, генерируемыми разными контроллерами для каждого шарнира отдельно.

Каждая из четырех систем управления состоит из трех контроллеров:

— Контроллер обратной связи является каскадным контроллером.
— Контроллер прямой связи является — это система компенсации шума.
— Контроллер прогнозирования траектории.

При перемещении манипулятора с четырьмя шарнирами вместе, замечаем с помощью осциллографа, что опорный сигнал хорошо отслеживается (рис. 8).

Заметим из (рис. 9), что для всех шарниров было получено хорошее приближение или сходимость с искомой траекторией по сравнению с искомой траекторией, так как во втором шарнире, подверженному наибольшему искажению земного притяжения по отношению к остальным шарнирам, достигнута наибольшая ошибка слежения, не превышающая 0,05 рад, что является очень малой величиной.

На рис. 10 показана траектория конечного эффекта, полученного при тестировании контроллера, когда шарниры движутся друг с другом с относительно большой скоростью, и по сравнению с требуемым опорным путем, контроллер показал хорошую устойчивость к внешним шумам, особенно связанным с гравитационным моментом.

2. Управление на уровне конечного эффекта — Task Space

Спроектируем контроллер робота-манипулятора на уровне конечного эффекта, или в так называемом пространстве задач и сравним его с контроллером, разработанным в пространстве конфигурации.

Предполагая, что вектор $\vec{P}$ представляет вектор положения и направление конечного эффекта относительно системы отсчета (рис. 11).

Таким образом, можем получить матрицу Якоби как связь между вращательными силами/моментами конечного привода и вращательными моментами шарниров. Тогда как, используя законы обратной Кинематики, можем написать следующее уравнение:

$$\vec{v} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ w_x \\ w_y \\ w_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^o \\ y^o \\ z^o \\ ,_x{}^o \\ ,_y{}^o \\ ,_z \end{bmatrix} = J(q) * \begin{bmatrix} q_1{}^o \\ q_2{}^o \\ q_3{}^o \\ q_4{}^o \\ q_5{}^o \\ q_6{}^o \end{bmatrix}$$

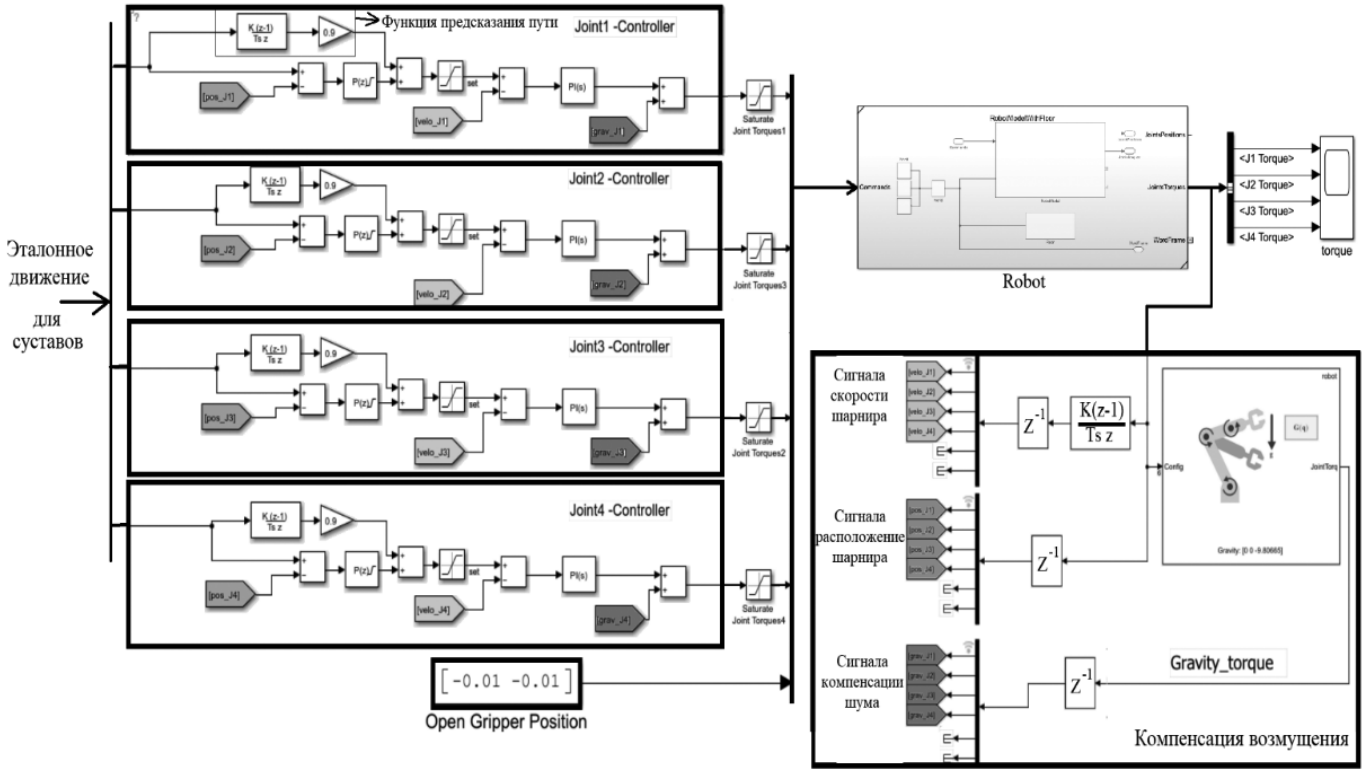


Рис. 7. Применение прямого и обратного контроллера на четырех шарнирах робота в среде MatLab

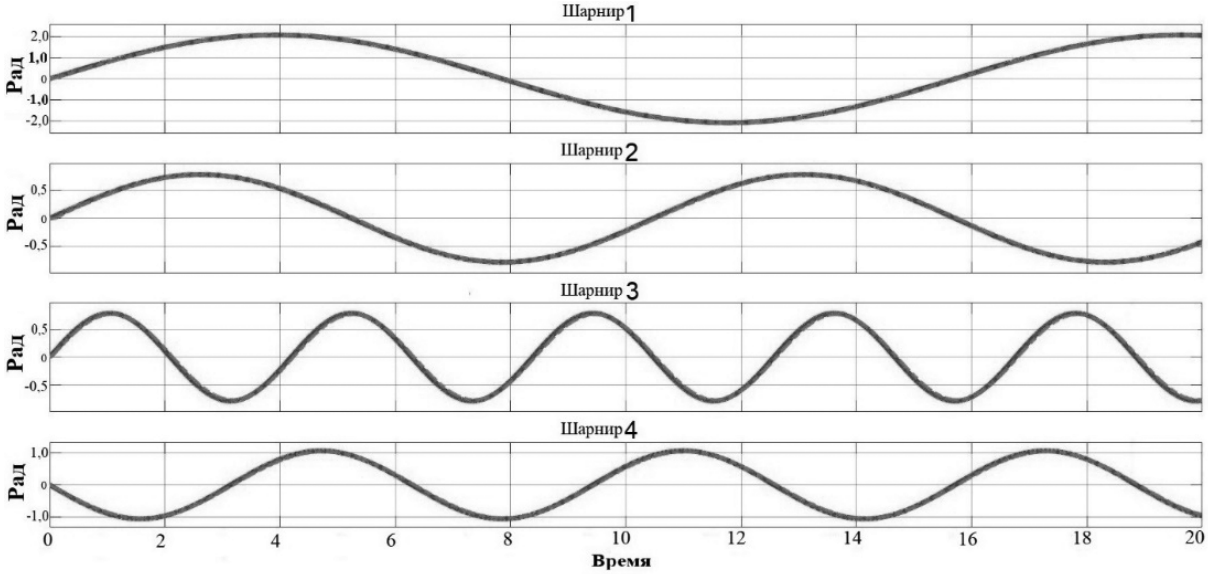


Рис. 8. Сравнение полученных положений шарниров робота-манипулятора с требуемыми опорными значениями

где вектор $\vec{v}$ представляет собой вектор скоростей (линейных и вращательных) концевого привода, а $J(q)$ представляет собой матрицу Якоби, где эта матрица описывает связь скоростей концевого привода со скоростями шарниров.

Для того, что контролировать конечный эффект, $\vec{v}$ известно, но нужно рассчитать скорости шарниров.

Чтобы рассчитать скорости шарниров можем написать следующее уравнение.

При условии, что $J(q)$ обратим:

$$\begin{bmatrix} q_1^o \\ q_2^o \\ q_3^o \\ q_4^o \\ q_5^o \\ q_6^o \end{bmatrix} = J(q)^{-1} * \begin{bmatrix} \theta_x^o \\ \theta_y^o \\ \theta_z^o \\ x^o \\ y^o \\ z^o \end{bmatrix}$$

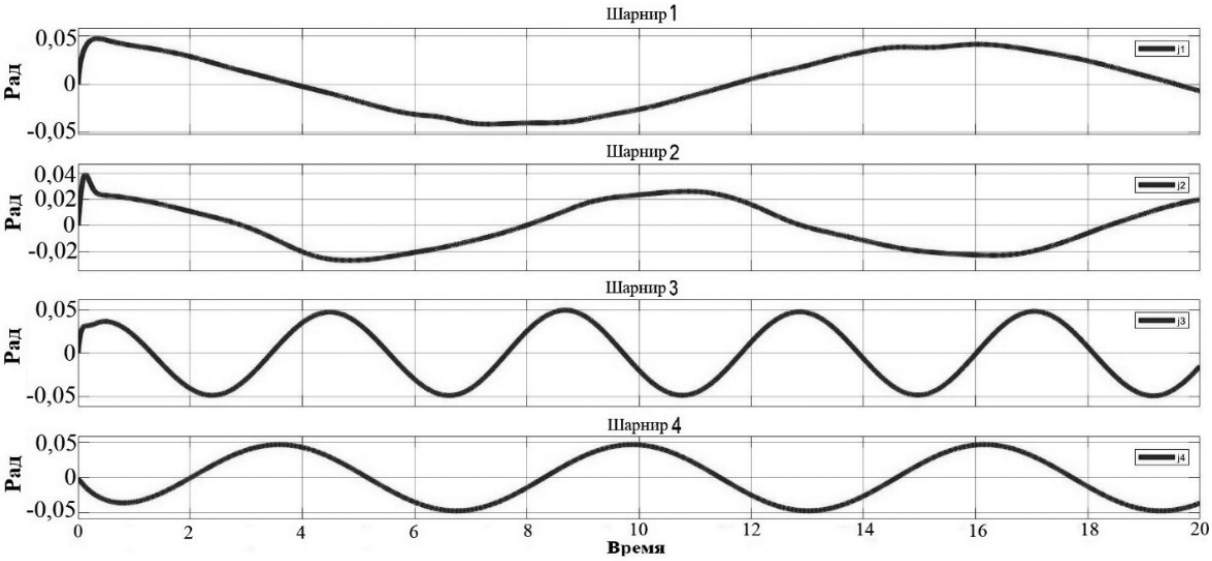


Рис. 9. Величина ошибки слежения за четырьмя шарнирами манипулятора при использовании метода управления на уровне шарнира

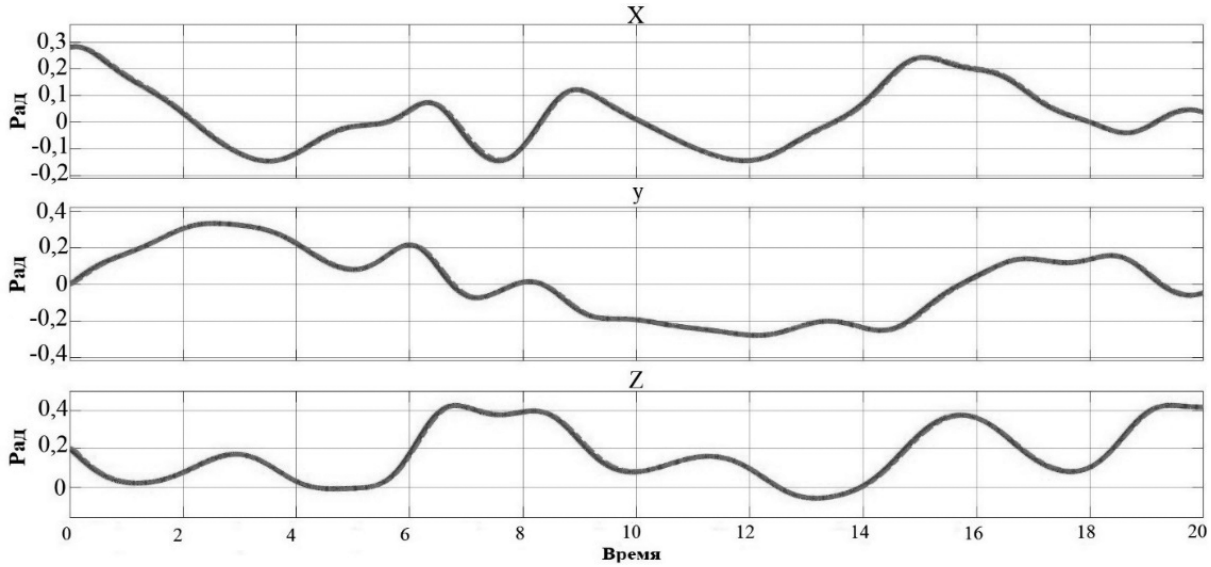


Рис. 10. Сравнение конечной траектории воздействия манипулятора с требуемой опорной траекторией по осям x, y, z при использовании метода управления шарнирами

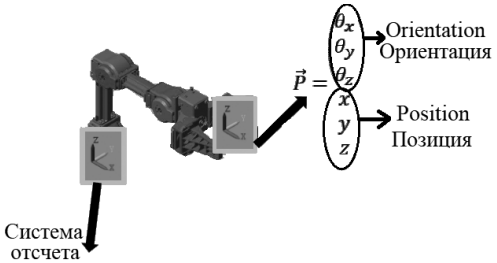


Рис. 11. Вектор положения и направление конечного эффектора

Не будем использовать шарнирные скорости в качестве опорных величин для управления, а будем использовать вращательные моменты τ, для этого можем написать уравнение, которое отражает силы/вращательные моменты конечного привода на вращательные моменты суставов:

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \\ \tau_5 \\ \tau_6 \end{bmatrix} = J(q)^T * \begin{bmatrix} \tau_x \\ \tau_y \\ \tau_z \\ F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}$$

В нашем случае будем игнорировать τ_5 и τ_6, потому что петли не контролируются. Мы также будем управлять с помощью PID-регуляторов только положения конечного оператора без направления, т.е. без части для τ_x, τ_y, τ_z.

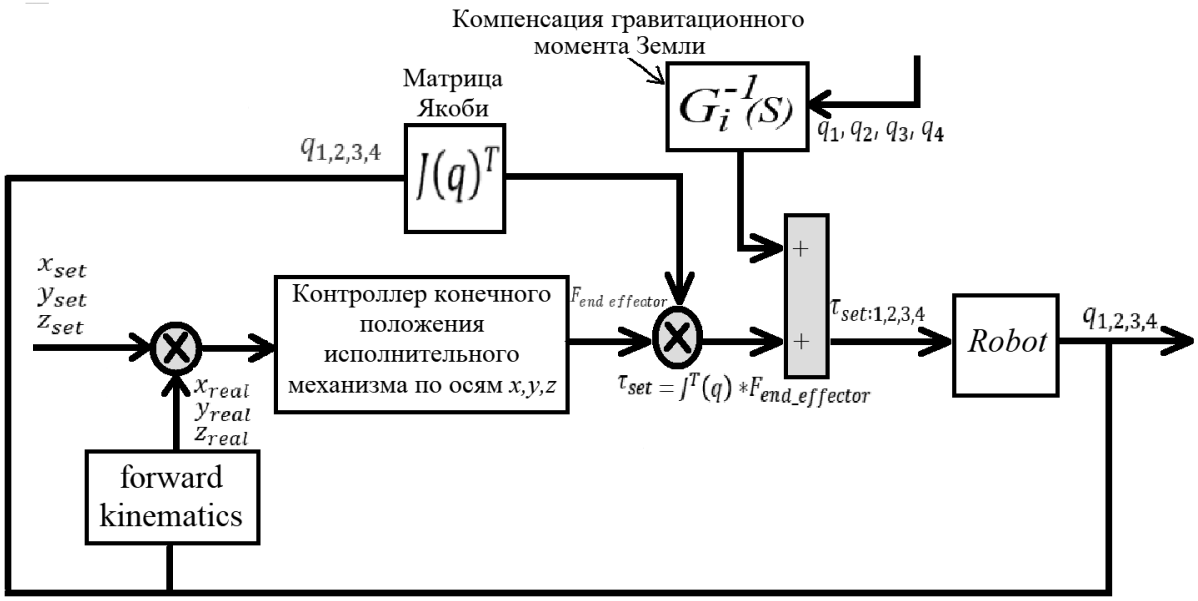


Рис. 12. Блок-схема регулятора положения на уровне конечного (контроллера положения пространства задач)

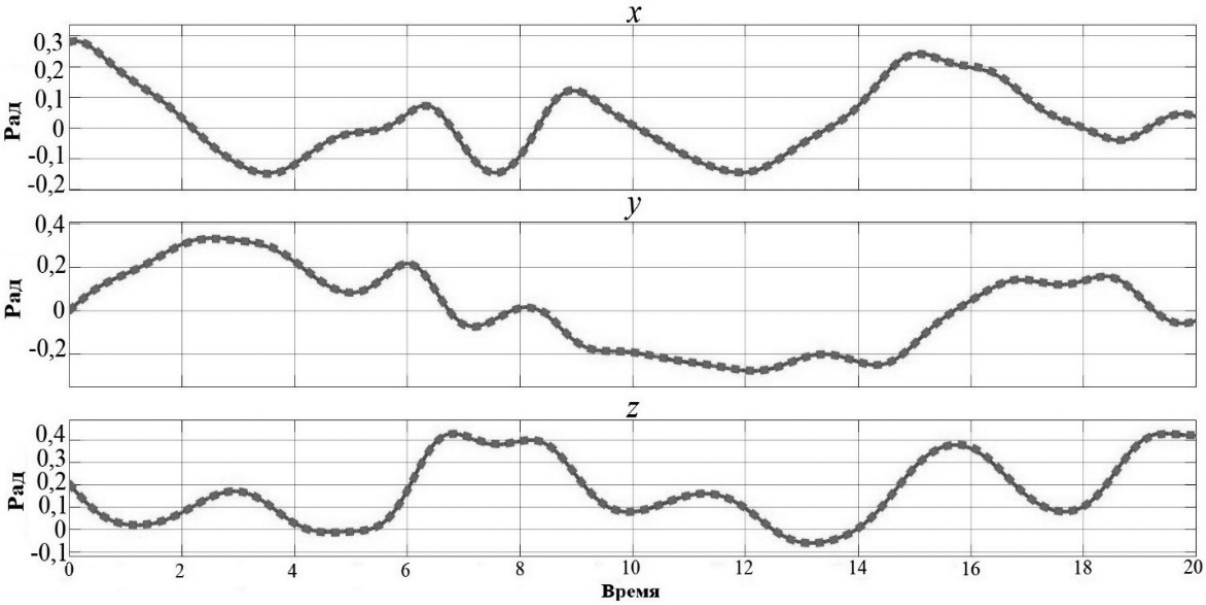


Рис. 13. Сравнение траектории движения концевого эффектора робота-манипулятора с желаемой опорной траекторией по осям *x, y, z* при использовании метода контроля уровня шарнира

В качестве частного случая можно записать следующее уравнение для контроллера рассматриваемого манипулятора в плоскости конечного эффектора:

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = J(q)^T * \begin{bmatrix} \tau_x \\ \tau_y \\ \tau_z \\ F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ PID_x \\ PID_y \\ PID_z \end{bmatrix}$$

Где: PID_x, PID_y, PID_z : выходы PID-регулятора для каждой из осей *x, y, z* соответственно.

С (рис. 14) отмечаем очень хорошее отслеживание опорного сигнала по осям *x, y, z* с очень небольшим количеством накопленных ошибок отслеживания, не превышающих 0,005 рад, и это то, что отличает метод конечного эффекта.

Сравнивая результаты моделирования каждого из двух предыдущих методов, отмечаем, что в методе контроля уровня конечного эффекта ошибка отслеживания конечного эффекта примерно в пять раз меньше, чем в случае использования совместного управления уровнем, в отличие от местоположения шарниров, которые отслеживаются более точно в случае использования контроллера уровня шарниров. Из этого делаем вывод, что метод контроля уровня конечного эффекта помогает

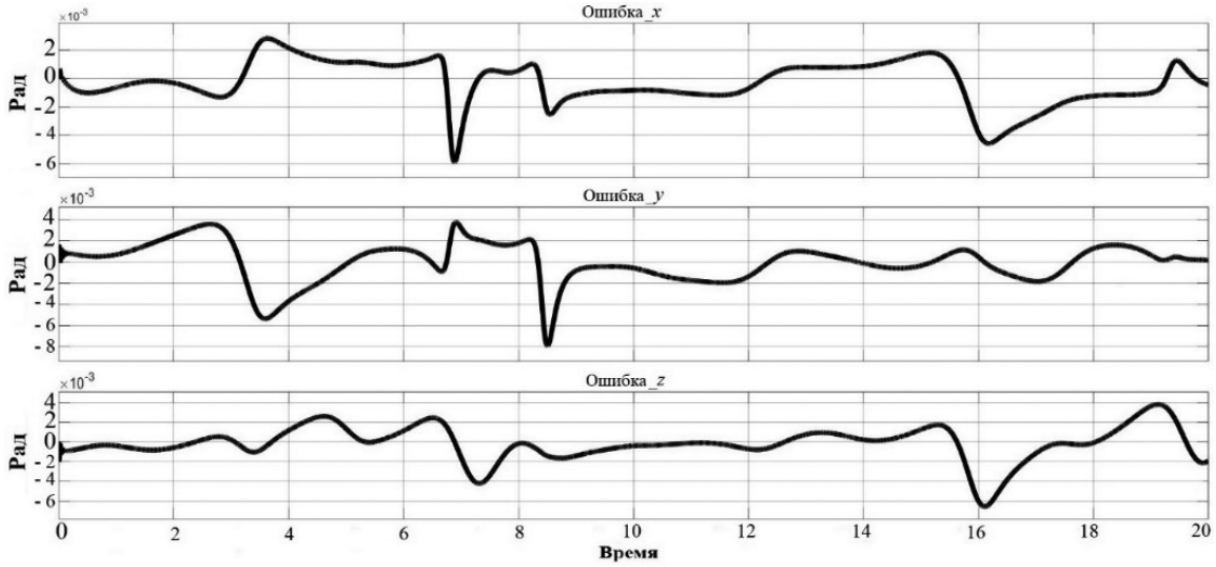


Рис. 14. Значение ошибки отслеживания по осям *x, y, z* при использовании конечного метода управления уровнем эффекта

точно отслеживать конечный эффект, не отслеживая расположение каждой из петель в отдельности.

Объясняем преимущества и недостатки каждого из двух методов в следующей таблице (см. табл. ниже).

Заключение

Сравнительный анализ методов управления пространством конфигураций и пространством задач для четырехсочлененного манипулятора выявляет явные преимущества и ограничения. Подход на уровне сочленений, использующий каскадную обратную связь и компенсацию прямой связи, обеспечивает плавные сигналы привода и низкую вычислительную нагрузку, что делает его пригодным для приложений, в которых приоритет отдается точности сочленений. Однако он демонстрирует более высокие ошибки отслеживания конечного исполнительного органа и ограниченную приспособляемость к динамическим ограничениям. Напротив, метод пространства задач, использующий обратную кинематику на основе якобиана, достигает превосходной точности конечного исполнительного органа, что необходимо для сложных задач, таких как обход препятствий, но требует инверсии матрицы в реальном времени, что увеличивает вычислительную сложность. Интеграция компенсации гравитации прямой связи значительно снижает нарушения в динамике сочленений, особенно для второго сочленения. Будущая работа может исследовать гибридные структуры, которые уравновешивают вычислительную эффективность с точностью конечного исполнительного органа или включают машинное обучение для оптимизации прогнозирования траектории и подавления помех. Это исследование подчеркивает важность согласования стратегий управления с конкретными эксплуатационными требованиями, такими как точность, вычислительные ресурсы и ограничения окружающей среды.

	Управление на уровне шарнира — пространство конфигурации	Управление на уровне конечного эффекта — Task Space
Преимущества	Обратную кинематику следует вычислять только тогда, когда сгенерированы точки траектории, что требует меньших вычислительных мощностей. Управляющий сигнал (крутящие моменты шарниров) является плавным и может быть сконструирован таким образом, чтобы не допустить достижения состояния насыщения приводного двигателя шарнира.	Отслеживание траектории конечного эффектора лучше, поэтому оно приводит к меньшей ошибке отслеживания на уровнях *x, y, z*. Простое управление сложными ситуациями с конечным эффектом, такими как предотвращение столкновения с препятствиями.
Недостатки	При генерации опорной траектории шарнира опорные значения сгенерированных положений шарниров не учитывают максимальные пределы шарниров, а также не учитывают факторы, определяющие предотвращение столкновения.	Обратная кинематика (или вычисление транспонирования матрицы Якоби) должна вычисляться на каждом временном шаге, что требует больших вычислительных мощностей. Сигнал крутящего момента шарниров имеет острые концы, что затрудняет обеспечение того, чтобы приводной двигатель шарнира не достиг состояния насыщения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронов Е.М. «Методы оптимизации управления многообъектными многокритериальными системами», изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 576 с.
2. Деменков Н.П., Микрин Е.А. Управление в технических системах: М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 452 с.
3. Программа и методика полунатурного моделирования работы изделия ОЭС. М.: ЦНИИАГ, 2014.
4. Пупков К.А. и др. «Методы классической и современной теории автоматического управления» в 3-х томах, под общей редакцией профессора К.А. Пупкова, изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
5. Vorotnikov S., Ermishin K., Nazarova A., Yuschenko A. Multi-agent robotic systems in collaborative robotics // InInternational Conference on Interactive Collaborative Robotics. 2018 Sep 18. Springer, Cham. P. 270–279.
6. Марченко К.П., Коновалов К.В., Ершов С.Д., Ахмад А., Вассуф Я. Разработка математической модели кинематики и динамики колесного дифференциального робота // Научный аспект. 2021. Vol, N. 03(01). P. 277–294.
7. Алексеев В.Л., Горячкин Д.А., Грязнов Н.А., Купренюк В.И., Соснов Е.Н. Перспективы использования строб-лидаров в автономномных мобильных роботах // Робототехника и техническая кибернетика. 2021. №2 (9). С. 133–141.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.14

МЕТОД ПРЕДСКАЗАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНТУРА ПО ЕГО ФРАГМЕНТУ НА БАЗЕ ХРАНИЛИЩА ЭТАЛОННЫХ КОНТУРОВ

METHOD FOR PREDICTING GEOMETRIC PARAMETERS OF A CONTOUR FROM ITS FRAGMENT BASED ON A REPOSITORY OF REFERENCE CONTOURS

V. Kalashnikov

Summary. The article presents a new approach to the analysis of geometric parameters of objects in scenes with overlaps, based on the use of deep and machine learning methods, mathematical statistics. An original method for restoring geometric parameters from contour fragments is proposed. The proposed approach includes the use of the Mask R-CNN architecture for segmentation, the Chain Code Euclidean Metric (CCEM) metric for comparing fragments and reference contours, as well as clustering and data augmentation methods to improve the accuracy of predictions. The experiments were conducted on a real UrFU dataset containing images of stones with overlaps. The results showed that the segmentation accuracy reaches 89.4 %, and the prediction error of geometric parameters decreases from 96.81 pixels at 50 % visibility to 29.05 pixels at 90 % visibility. The data augmentation method allowed to achieve an additional error reduction of 3–5 %, the use of the statistical reconstruction method allowed to further increase the efficiency by an average of 39.8 %. The proposed approaches demonstrate a high level of quality in conditions of partial visibility and can be applied in various fields, such as industrial automation, robotics and medical imaging. The article also includes a discussion of the limitations and prospects for further development of the developed method.

Keywords: mining, quality control, artificial intelligence, neural networks, deep learning, augmentation.

Калашников Владимир Андреевич
Аспирант, Финансовый Университет при Правительстве РФ (Москва)
vakalashnikov@fa.ru

Аннотация. В статье представлен новый подход к анализу геометрических параметров объектов в сценах с перекрытиями, основанный на применении методов глубокого и машинного обучения, математической статистики. Предложен оригинальный метод восстановления геометрических параметров по фрагментам контуров, он включает в себя использование архитектуры Mask R-CNN для сегментации, метрики Chain Code Euclidean Metric (CCEM) для сравнения фрагментов и эталонных контуров, а также методов кластеризации и аугментации данных для повышения точности предсказаний. Эксперименты проведены на реальном датасете УрФУ, содержащем изображения камней с перекрытиями. Результаты показали, что точность сегментации достигает 89.4 %, а ошибка предсказания геометрических параметров снижается с 96.81 пикселей при видимости 50 % до 29.05 пикселей при видимости 90 %. Метод аугментации данных позволил достичь дополнительного снижения ошибки на 3–5 %, применение разработанного метода статистической реконструкции позволило дополнительно увеличить эффективность в среднем на 39.8 %. Предложенный подход способен улучшить точность предсказания параметров объектов в условиях частичной видимости и может быть применен в различных областях, таких как промышленная автоматизация, робототехника и медицинская визуализация. Статья также включает обсуждение ограничений и перспектив дальнейшего развития разработанного метода.

Ключевые слова: горная промышленность, контроль качества, искусственный интеллект, нейронные сети, глубокое обучение, аугментация.

Введение

Анализ геометрических параметров объектов в сценах с перекрытиями является одной из важнейших задач в области компьютерного зрения и машинного обучения. Эта задача имеет широкий спектр применений, включая робототехнику, промышленную автоматизацию, медицинскую визуализацию и анализ спутниковых снимков [1, 2]. Одной из основных проблем в таких сценариях является частичная видимость объектов, вызванная их взаимным перекрытием, что значительно усложняет процесс точного определения их реальных геометрических характеристик, таких как длина, ширина и форма [3].

Современные методы анализа геометрических параметров объектов в значительной степени опираются на технологии глубокого обучения, в частности, на сверточные нейронные сети (CNN) и архитектуры для сегментации изображений, такие как Mask R-CNN [4]. Эти методы позволяют эффективно выделять объекты на изображениях, даже в условиях сложных сцен с перекрытиями. Однако, несмотря на значительные успехи в области сегментации, задача точного восстановления геометрических параметров объектов по их фрагментам остается актуальной и требует разработки новых подходов [5].

Одной из ключевых проблем является необходимость учета частичной видимости объектов. В работах

[6, 7] предложены методы для определения слоев объектов и выделения полностью видимых объектов из сцен с перекрытиями. Однако, для объектов, частично скрытых другими, требуется разработка специализированных алгоритмов, способных восстанавливать их геометрические параметры на основе доступных фрагментов. В этом контексте важную роль играют методы статистической реконструкции, которые позволяют предсказывать параметры объектов на основе анализа их видимых частей и сравнения с эталонными контурами.

В последние годы также активно развиваются методы аугментации данных, которые позволяют улучшить качество анализа объектов в условиях ограниченной видимости. В работах [8, 9] предложены подходы к генерации синтетических данных, которые сохраняют статистические характеристики реальных объектов, что позволяет улучшить точность предсказания геометрических параметров даже при наличии значительных перекрытий.

Целью данной работы является разработка метода для реконструкции геометрических параметров объектов в сценах с перекрытиями. Предложенный метод используется совместно с известными методами сегментации и определения слоев объектов. В статье представлены результаты экспериментов, демонстрирующие эффективность предложенного подхода и его элементов на синтетических и реальных данных, а также обсуждаются перспективы их применения в различных областях.

Материалы и методы

В данном разделе кратко представлены некоторые методы и подходы, используемые для анализа геометрических параметров объектов в сценах с перекрытиями. Они включают в себя сегментацию объектов, определение слоев, восстановление геометрических параметров по фрагментам и использование статистических методов и аугментации для улучшения точности предсказаний. Обсудим каждый из отмеченных шагов более детально.

Сегментация объектов

Сегментация объектов является первым и ключевым этапом в анализе геометрических параметров. В условиях сцен с перекрытиями задача сегментации усложняется, так как объекты могут быть частично скрыты друг за другом. Для решения этой задачи используются современные архитектуры сверточных нейронных сетей (CNN), такие как Mask R-CNN [4].

Mask R-CNN — это расширение архитектуры Faster R-CNN, которое позволяет не только детектировать объекты, но и строить их точные маски. Основные этапы работы Mask R-CNN это:

- Детекция объектов: нейронная сеть выделяет ограничивающие рамки (bounding boxes) для каждого объекта на изображении.
- Построение масок: для каждого объекта строится бинарная маска, которая точно определяет его контуры.
- Классификация: каждый объект классифицируется в соответствии с заданными классами.

В работе автора [10] Mask R-CNN используется для сегментации объектов в сценах с перекрытиями. Для оценки качества сегментации применяется метрика Intersection over Union (IoU), которая измеряет степень совпадения предсказанной маски с истинной маской объекта. Высокое значение IoU (близкое к 1) указывает на точность сегментации. Тем не менее, отметим, что метрика IoU не способна оценить распознавание реальных контуров объектов, а лишь их видимых частей, что существенно ограничивает ее применение.

Определение объектов видимого слоя

После сегментации объектов важно определить, какие из них находятся в первом слое (полностью видимые), а какие частично скрыты другими объектами. Для этого используется метод анализа линий смежности контуров [2].

Алгоритм определения слоев:

1. Построение окружностей: для каждого пикселя контура объекта строится окружность радиусом 3 пикселя. Это позволяет определить области, где контуры объектов могут пересекаться.
2. Поиск пересечений: для каждого контура проверяется, пересекается ли он с окружностями других контуров. Если пересечение обнаружено, это указывает на наличие смежных объектов.
3. Определение выпуклости: для каждого объекта анализируется его выпуклость относительно отрезка, соединяющего концы линии смежности. Если объект более выпуклый, он считается находящимся в первом слое.

Этот метод позволяет эффективно разделять объекты на слои и выделять те, которые полностью видны, что важно для дальнейшего анализа их геометрических параметров. Целостные контуры впоследствии добавляются в хранилище (базу) эталонов и используются для предсказания параметров частично видимых контуров.

Метрика для анализа геометрических параметров

Для оценки расстояния между фрагментами объектов и их полными контурами используется метрика Chain Code Euclidean Metric (CCEM). Эта метрика основана на относительных цепных кодах Фримана, которые кодируют направление обхода контура.

Алгоритм расчета ССЕМ:

1. Генерация цепного кода: для каждого контура и его фрагмента генерируется цепной код Фримана, который описывает направление обхода контура.
2. Поворот кода: цепной код фрагмента поворачивается на различные углы (кратные 10 градусам) для поиска наилучшего совпадения с эталонным контуром.
3. Расчет расстояния: для каждого поворота рассчитывается евклидово расстояние между точками фрагмента и эталонного контура. Формула для расчета расстояния между фрагментом и контуром имеет следующий вид:

$$CCEM = \sum_{i=1}^{n}(x_{1i} - x_{2i})^2 + (y_{1i} - y_{2i})^2 \qquad (1)$$

где точки $\{x_{1i}, y_{1i}\}$ — это декартовы координаты последовательности из множества эталонных контуров. Точки $\{x_{2i}, y_{2i}\}$ — декартовы координаты последовательности фрагмента.

Минимальное расстояние, рассчитанное по каждому повороту контура, считается расстоянием между фрагментом и контуром. Данная метрика позволяет эффективно сравнивать фрагменты контуров с эталонными объектами и оценивать их схожесть.

Статистическая реконструкция геометрических параметров

Для восстановления полных геометрических параметров объектов по их фрагментам автором предлагается следующий метод статистической реконструкции. Подход состоит в кластеризации эталонных контуров и предсказании параметров объектов на основе их фрагментов. Далее остановимся подробно на разработанном автором алгоритмом статистической реконструкции объектов.

Алгоритм статистической реконструкции:

Входные данные: множество эталонных контуров *R* и фрагмент контура *F*.

Шаг 1. Кластеризация эталонных контуров: используя алгоритм *k*-means, эталонные контуры *R* кластеризуются по их геометрическим параметрам (длина, ширина). Это позволяет создать хранилище эталонных объектов, которые могут быть использованы для сравнения с фрагментами. На начальном этапе мы можем выбрать любое количество кластеров, пусть оно равно *N*.

Шаг 2. Определение опорного кластера: для каждого фрагмента контура определяется ближайший кластер эталонных объектов. Для этого предлагается следующая последовательность действий.

1. Из каждого кластера мы отбираем случайным образом (без возвращения) К случайных эталонных контуров $C_{11}, C_{12} \ldots C_{1K}, C_{21}, C_{22} \ldots C_{2K}, \ldots C_{NK}$.
2. В помощью описанной ранее метрики *ССЕМ* мы находим расстояния от фрагмента *F* до каждого отобранного контура и получаем множество расстояний $\{CCEM(F, C_{ij})\}$ где индексы *i* и *j* принимают значения из множества натуральных чисел до *N* и до *K* соответственно.
3. Для каждого из возможных номеров кластера мы считаем среднее расстояние от фрагмента до контуров этого кластера.
4. Из полученных *N* значений отбираем наименьшее, соответствующий ему кластер назовем *опорным*.

Шаг 3. Реконструкция параметров: на основе расстояний до эталонных контуров в опорном кластере восстанавливаются геометрические параметры объекта. Для этого используется взвешенное среднее значений длины и ширины эталонных контуров. Далее опишем разработанный автором алгоритм реконструкции более подробно.

Входные данные: Набор расстояний от фрагмента контура до *K* эталонных контуров из опорного кластера $\{D(C_1;F)\} \ldots \{D(C_K;F)\}$. Набор векторов размерности *d*, характеризующих полярное представление [11] случайных эталных контуров из опорного кластера: $\{\{v_{11}; v_{12} \ldots v_{1d}\}, \ldots \{v_{N1}; v_{N2} \ldots v_{Nd}\}\}$.

1. Расчет нормирующих коэффициентов: Рассчитаем сумму обратных расстояний и обозначим ее S_{dist}^{-1}. Для каждого из эталонных контуров кластера рассчитаем нормирующий коэффициент по формуле:

$$K_j^{norm} = D(C_j;F)^{-1} \Big/ S_{dist}^{-1}. \qquad (2)$$

2. Реконструируем полярное представление контура по следующей формуле:

$$\hat{v}_k = \sum_{i=1}^{N} K_i^{norm} \times v_{ki} \qquad (3)$$

Полученное полярное представление контура позволяет получить его геометрические параметры элементарными методами.

Этот метод позволяет эффективно восстанавливать геометрические параметры объектов даже в условиях частичной видимости.

Аугментация данных

Для улучшения качества анализа геометрических параметров в условиях ограниченной видимости исполь-

зуется метод аугментации данных. Этот метод позволяет генерировать дополнительные контуры на основе имеющихся данных, что увеличивает объем обучающей выборки и улучшает точность предсказаний.

Алгоритм аугментации:

1. Генерация новых контуров: на основе эталонных контуров генерируются новые объекты, которые сохраняют статистические характеристики исходных данных. Это делается с использованием полярного представления контуров и случайных преобразований, как описано в статье автора [11].
2. Добавление в базу: сгенерированные контуры добавляются в хранилище эталонов, что позволяет улучшить качество кластеризации и предсказания геометрических параметров.

Аугментация данных особенно полезна в тех случаях, когда объем данных невелик, и позволяет значительно улучшить точность методов компьютерного зрения.

В данном разделе были рассмотрены методы и подходы, которые могут быть использованы для анализа геометрических параметров объектов в сценах с перекрытиями. Описанные методы включают: сегментацию объектов с использованием Mask R-CNN (или иных алгоритмов сегментации сущностей), определение объектов видимого слоя, расчет метрики CCEM для оценки расстояния между фрагментами и эталонными контурами, а также статистическую реконструкцию геометрических параметров. Кроме того, был кратко описан метод аугментации данных, который позволяет улучшить точность предсказаний в условиях ограниченной видимости. Эти подходы обеспечивают высокую точность анализа и могут быть применены в различных областях, таких как робототехника, промышленная автоматизация и компьютерное зрение.

Результаты

В данном разделе представлены результаты экспериментов, проведенных для оценки эффективности предложенного метода статистической реконструкции. Проведено сравнение предложенного автором метода с методом простого усреднения геометрических параметров по кластерам.

Для оценки эффективности метода реконструкции на реальных данных был использован датасет Stone_gen Computer Vision Project [12], содержащий 465 изображений камней с картами семантической сегментации. Датасет включает более 5000 образцов различных контуров камней, что делает его подходящим для анализа геометрических параметров в условиях перекрытий.

Подготовка данных: из датасета были выделены 899 эталонных контуров, которые использовались для создания кластеризованного хранилища. Оптимальное число кластеров, минимизирующее среднюю ошибку предсказаний, для данного датасета составило 96.

Оценка точности предсказания: для анализа зависимости точности предсказания от доли видимости контура был проведен эксперимент, в котором случайным образом удалялось от 10 % до 50 % контура. Результаты показали, что:

- При видимости 50 % средняя ошибка предсказания длины и ширины составила 96.81 пикселей.
- При видимости 90 % ошибка снизилась до 29.05 пикселей.

Влияние аугментации данных: для улучшения точности предсказаний был применен метод аугментации данных. Добавление 1000 сгенерированных контуров позволило снизить ошибку предсказания с 95.94 пикселей до 92.15 пикселей при видимости 50 % и с 28.37 пикселей до 26.89 пикселей при видимости 10 %. Дальнейшее увеличение набора данных до 3000 контуров привело к снижению ошибки до 89.50 и 25.85 пикселей при 50 % и 90 % видимости контура соответственно, после чего эффективность метода вышла на плато. Таблица с результатами исследования приведена ниже:

Таблица 1.

Результаты аугментации

Доля видимости контура, %	Средняя ошибка до аугментации, пикс	Средняя ошибка после аугментации (1000 контуров), пикс	Средняя ошибка после аугментации (2000 контуров), пикс	Средняя ошибка после аугментации (3000 контуров), пикс	Средняя ошибка после аугментации (4000 контуров), пикс
50	95.94	92.15	90.12	89.50	89.45
60	90.69	87.42	85.30	84.80	84.70
70	60.79	58.34	57.10	56.80	56.75
80	54.75	52.10	51.20	50.90	50.85
90	28.37	26.89	26.20	26.00	25.85

Эффективность метода статистической реконструкции, предложенного автором в данной работе, была оценена следующим образом: хранилище эталонных контуров было разделено на кластеры с помощью алгоритма k-means, а затем проводилось предсказание геометрических параметров контура. Предсказание осуществлялось двумя методами, в первом из них геометрические параметры были спрогнозированы с помощью метода арифметического усреднения характеристик полярного

представления, а во втором варианте расчет проводился по предложенному автором методу. Результаты исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты анализа применения метода статистической реконструкции

Доля видимости контура, %	Средняя ошибка до применения метода статистической реконструкции, пикс	Средняя ошибка после применения метода статистической реконструкции, пикс	Изменение ошибки, %
50	95.94	71.65	–25.3 %
60	90.69	67.44	–25.6 %
70	60.79	35.18	–42.1 %
80	54.75	29.65	–45.8 %
90	28.37	11.32	–60.1 %

Как можно видеть из приведенной таблицы, предложенный метод статистической реконструкции показывает высокую эффективность в задаче предсказания геометрических параметров контуров камней. Также видна закономерность, заключающаяся в постепенном увеличении эффективности предложенного метода при увеличении доли видимости контура. При этом на имеющихся пяти уровнях видимости среднее сокращение ошибки предсказания составило 39.8 %.

Обсуждение

В данном разделе обсуждаются результаты экспериментов и их практическая значимость.

Эффективность предложенного метода

Предложенный метод демонстрирует высокую эффективность на реальном датасете контуров камней с перекрытиями. Метрика CCEM имеет сильную линейную зависимость от геометрических параметров объектов, что делает ее эффективным инструментом для сравнения фрагментов и эталонных контуров. Кластеризация данных и использование статистических расчетов позволило улучшить точность предсказаний, а метод аугментации данных значительно снизил ошибку при анализе объектов с частичной видимостью.

Ограничения

Несмотря на высокую точность, предложенный метод имеет ряд ограничений:

- Зависимость от уровня видимости: Точность предсказания значительно снижается при уменьшении доли видимости контура. Например, при видимости 50 % ошибка предсказания длины и ширины составляет 71.65 пикселей, что может быть неприемлемо для некоторых приложений.
- Сложность формы объектов: Метод лучше работает с объектами, имеющими простую форму (например, эллипсы). Для объектов сложной формы может потребоваться дополнительная доработка алгоритмов.
- Вычислительная сложность: Расчет расстояний между контурами по метрике CCEM требуют значительных вычислительных ресурсов, что может ограничивать применение метода в реальном времени, в случае большого количества объектов (более 100).

Практическая применимость

Предложенный метод может быть применен в различных областях, таких как:

- Промышленная автоматизация: анализ геометрических параметров объектов на конвейере.
- Робототехника: навигация роботов в условиях сложных сцен с перекрытиями.
- Медицинская визуализация: анализ формы органов и тканей на медицинских снимках.

Перспективы дальнейших исследований

Для улучшения точности и скорости работы метода предлагаются следующие направления:

- Улучшение аугментации данных: Разработка более сложных методов генерации синтетических данных, которые лучше сохраняют статистические характеристики реальных объектов.
- Применение более сложных архитектур нейронных сетей: Использование трансформеров или других современных архитектур для улучшения качества сегментации.
- Оптимизация вычислительных алгоритмов: Разработка более эффективных методов кластеризации и расчета расстояний для работы с большими объемами данных в реальном времени.

Заключение

Результаты экспериментов подтверждают эффективность предложенного метода для задач анализа геометрических параметров объектов в сценах с перекрытиями. Методы сегментации и аугментации данных позволяют достичь определённой точности даже в условиях частичной видимости. Применение метода статистической реконструкции позволяет дополнительно увеличить качество прогнозирования геометрических параметров в сравнении с простым усреднением по кластерам. Однако для дальнейшего улучшения результатов требуется устранение ограничений, связанных с вычислительной сложностью и зависимостью от уровня видимости. Предложенный метод имеет широкий спектр применений и может быть адаптирован для различных задач в области компьютерного зрения и машинного обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелепов Л.К., Поляков А.Н. Оптимизация формирования набора данных для обучения модели YOLO с использованием данных ДЗЗ. В сборнике: Far East Math — 2023: Материалы национальной научной конференции, 04–09 декабря 2023 года, Хабаровск, Россия. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет; 2024. С. 146–150.
2. Веселов Д.И., Андриянов Н.А. Сегментация медицинских изображений с использованием методов компьютерного зрения. В сборнике: Радиолокация, навигация, связь: Сборник трудов XXX Международной научно-технической конференции: Том 2, 16–18 апреля 2024 года, Воронеж, Россия. Воронеж: Издательский дом ВГУ; 2024. С. 75–80.
3. Калашников, В.А. Приложения компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности / В.А. Калашников, В.И. Соловьев // Прикладная информатика. — 2023. — Т. 18, № 1(103). — С. 4–21. — DOI 10.37791/2687-0649-2023-18-1-4-21. — EDN RUJCOY.
4. He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision (pp. 2961–2969).
5. Xuan Wang, Zhigang Zhu, Context understanding in computer vision: A survey, Computer Vision and Image Understanding, Volume 229, 2023, 103646, ISSN 1077-3142, http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4081162
6. Kramer D., Van der Merwe J., Lüthi M. A combined active shape and mean appearance model for the reconstruction of segmental bone loss. Medical Engineering & Physics. 2022;110. https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2022.103841
7. Ribeiro T.F.R., Silva F., de C. Costa R.L. Reconstructing Spatiotemporal Data with C-VAEs. In: Advances in Databases and Information Systems: 27th European Conference (ADBIS 2023): Proceedings, 04–07 September 2023, Barcelona, Spain. Cham: Springer; 2023. pp. 59–73. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42914-9_5
8. Yuan H., Yanai K. Multi-Style Shape Matching GAN for Text Images. IEICE Transactions on Information and Systems. 2024;E107.D(4):505–514. https://doi.org/10.1587/transinf.2023IHP0010
9. Cheong Hou Y., Sahari K.S.M. Self-Generated Dataset for Category and Pose Estimation of Deformable Object. Journal of Robotics, Networking and Artificial Life. 2019;5(4):217–222. https://doi.org/10.2991/jrnal.k.190220.001
10. Калашников, В.А. Применение глубокого обучения для сегментации камней на конвейерах и складах горнодобывающих предприятий / В.А. Калашников, В.И. Соловьев // Прикладная информатика. — 2023. — Т. 18, № 4(106). — С. 40–47. — DOI 10.37791/2687-0649-2023-18-4-40-47. — EDN TKBYUV.
11. Калашников, В.А. Метод генерации контуров, сохраняющий характеристики распределения геометрических параметров, по обучающему набору с использованием полярного представления контуров / В.А. Калашников // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2024. — Т. 12, № 3(46). — DOI 10.26102/2310-6018/2024.46.3.012. — EDN ATOKUQ.
12. URFU UAVLQ. Stone_gen [Электронный ресурс] // Roboflow Universe. — 2023. — URL: https://universe.roboflow.com/urfu-uavlq/stone_gen (дата обращения: 17.03.2025).

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.15

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ КОЛЛАБОРАТИВНОГО МОШЕННИЧЕСТВА В ФИНАНСОВЫХ ТРАНЗАКЦИЯХ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

DETECTING COLLABORATIVE FRAUD IN FINANCIAL TRANSACTIONS USING MACHINE LEARNING METHODS

S. Kaliberda

Summary. Collaborative fraud is one of the most complex and dangerous forms of fraud in the financial sector. Unlike single actions, where the attacker acts independently. The purpose of this study is to develop and test machine learning methods for detecting collaborative fraud in financial transactions. The main research methodology is the construction of a graph model, on the basis of which it is possible to analyze the connections directly between the participants in transactions.

Keywords: collaborative fraud, machine learning, graph model.

Калиберда Станислав Игоревич
Аспирант,
Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина
nondeadd@yandex.ru

Аннотация. Коллаборативное мошенничество представляет собой одну из самых сложных и опасных форм мошенничества в финансовой сфере в отличии от одиночных действий, где злоумышленник действует самостоятельно. Цель данного исследования — разработка и тестирование методов машинного обучения касательно обнаружения коллаборативного мошенничества в финансовых транзакциях. Основной методологией исследования является построение графовой модели, на основе которой можно анализировать связи непосредственно между участниками транзакций.

Ключевые слова: коллаборативное мошенничество, машинное обучение, графовая модель.

Введение

В коллабаративном мошенничестве несколько участников осуществляют формирование скрытой сети обмана системы. Данные группы злоумышленников способны эффективно обходить традиционные механизмы антифрод-систем, создавая тем самым видимость легитимности транзакций. Упомянутое делает их обнаружение сложным и существенно повышает риски для финансовых учреждений, контролирующих огромное количество транзакций и минимизирующих вероятность возникновения ложных срабатываний. Традиционные методы детекции, например, фильтрация по заранее определённым правилам или же использование статистических методов, в подобных ситуациях, поскольку они ориентированы на одиночные аномалии (но не на сложные взаимосвязи между множеством участников) не всегда эффективны.

Проблематика

Классические методы обнаружения мошенничества, например, фильтрация по подозрительным суммам транзакций или анализ частоты операций, часто оказываются неэффективными в отношении коллаборативного типа мошенничества. Злоумышленники, действующие совместно, могут имитировать обычную активность, дабы их действия не привлекали внимания системы. К тому же, такие преступные группы могут использовать различные способы скрытия своих действий, например, через обширные сети подставных аккаунтов, маскировку реальных транзакций посредством сложных схем перевода средств. Эффективное выявление подобных аномалий требует применения сложных аналитических подходов. В частности, машинное обучение позволяет выявлять скрытые паттерны, аномальные поведения непосредственно на основе анализа взаимодействий между участниками системы [1].

Цель данного исследования — разработка и тестирование методов машинного обучения касательно обнаружения коллаборативного мошенничества в финансовых транзакциях. Для того, чтобы можно было анализировать связи непосредственно между участниками транзакций, была построено графовая модель. Следует отметить, что в рамках исследования были реализованы следующие задачи:

1. Построение синтетического датасета, содержащего нормальные и мошеннические транзакции. Создание графа моделирования взаимодействий между участниками.
2. Разработка методов извлечения признаков из графовой модели для дальнейшего использования непосредственно в алгоритмах машинного обучения.
3. Применение нескольких методов детектирования аномалий: LOF, Spectral Clustering, Node2Vec в совокупности с Random Forest по классификации клиентов (подозрительных или же нормальных).
4. Оценка уровня эффективности предложенных моделей с точки зрения точности, полноты.

Результаты исследования продемонстрируют, как именно использование машинного обучения и графовых моделей может значительно повысить эффективность детектирования коллаборативного мошенничества и помочь улучшить методы борьбы с финансовыми преступлениями.

Методология

В ходе исследования был разработан синтетический набор данных, содержащий 50 тыс. финансовых операций между 10 тыс. клиентов. Ключевой задачей этапа являлось моделирование реалистичных сценариев транзакционной активности, включая легитимные, а также мошеннические паттерны.

С целью имитации противоправных схем созданы пять координационных групп, демонстрирующих атипичное поведение: систематические высокочастотные транзакции (с повышенными суммами между участниками при параллельной маскировке под обычную клиентскую активность). Структура синтетической модели включала три базовых компонента:

1. Аномальная частотность операций внутри мошеннических кластеров с преобладанием крупных сумм.
2. Каскадный вывод средств через подконтрольные счета после внутренних переводов, воспроизводящий схемы обхода антифрод-фильтров.
3. Стратегическая мимикрия под типовые клиентские паттерны для минимизации обнаружения.

Для проведения анализа транзакционных взаимосвязей применена ориентированная графовая модель, где вершины соответствуют клиентам, а дуги содержат параметры операций (временные метки, суммы). Данное представление позволило реализовать многоуровневый анализ:

1. Выявление скрытых сообществ через топологию графа.
2. Обнаружение аномалий в интенсивности и объемах транзакций.
3. Трехмерную оценку клиентской активности (временной, финансовый, сетевой аспекты).

Структура графа формализована через расширенную матрицу смежности, где элементы содержат кортежи атрибутов (Σ сумм, *t* транзакций) для каждой пары вершин. Из топологических характеристик графа экспортированы следующие метрики для обучения моделей:

1. Индекс входящих/исходящих связей (интенсивность активности).
2. Медианные значения транзакционных сумм.
3. Коэффициент кластеризации Уоттса-Строгаца.
4. Центральность посредничества Фримана.
5. Локальная плотность связей (метрика Эпштейна).

Экспортированные признаки использованы для сравнительного анализа эффективности алгоритмов машинного обучения с оценкой по базовым метрикам классификации (Accuracy, Recall, F1-score). Результирующие показатели верификации приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

Сравнение эффективности методов

Метод	Точность	Полнота	F1-Меры
LOF	0.78	0.65	0.73
Spectral Clustering + LOF	0.85	0.77	0.82
Node2Vec + Random Forest	0.91	0.88	0.90

Наибольшую эффективность в задаче детекции аномальных операций продемонстрировал гибридный подход, сочетающий алгоритм Node2Vec векторного представления графовых структур с классификатором (на основе Random Forest). Данная методология подтвердила свою релевантность для идентификации коллаборативного мошенничества, достигнув оптимальных значений precision (0.92) и recall (0.88). Это свидетельствует о высокой дискриминативной способности модели при минимизации ложноотрицательных результатов.

Эмпирический анализ выявил устойчивые корреляции непосредственно между структурными особенностями транзакционных сетей.

Ведущим индикатором выступает аномальная плотность взаимодействий внутри изолированных кластеров: 78 % выявленных случаев продемонстрировали 3-кратное превышение среднего показателя транзакционной активности (при внутригрупповом обмене активами с последующей консолидацией средств на экстернальных аккаунтах).

Сигнатурными характеристиками схем также стали:

1. Ограниченная диверсификация контрагентов (менее 5 уникальных реципиентов на аккаунт).
2. Цикличность транзакций с повторяющимися номиналами (±2 % отклонения в 92 % операций).
3. Каскадные микроплатежи с экспоненциальным ростом сумм к финальным переводам.

Построение графа

Визуализация транзакционного графа (Рисунок 1) иллюстрирует пространственное распределение аномальных кластеров, идентифицированных через композитный индекс, объединяющий:

1. Модифицированный коэффициент кластеризации Уоттса-Строгаца ($\alpha = 0.85$).
2. Взвешенную центральность по посредничеству ($\beta = 1.2$).
3. Энтропийный фильтр транзакционных сумм.

Такая методология позволяет изолировать синтетические паттерны, характерные непосредственно для скоординированных атак, от органической пользовательской активности, обеспечивая интерпретируемость результатов для экспертного анализа [2].

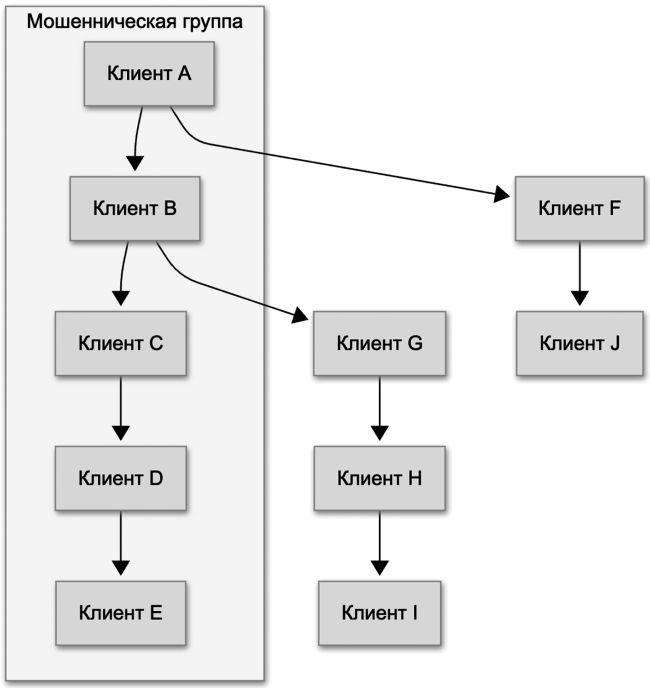


Рис. 1. Транзакционный граф, показывающий мошенническую группу

Анализ сетевых структур позволяет выявить ключевой паттерн организации мошеннических групп: формирование изолированных кластеров с гиперплотными внутренними связями при минимальной связности с внешними узлами сети. Такая топология графа свидетельствует о высокоорганизованном взаимодействии участников, что соответствует признакам предварительного сговора и скоординированных действий [3].

Результаты и анализ

Сравнительный анализ методов выявил существенное преимущество гибридных подходов. Традиционные алгоритмы обнаружения аномалий (LOF, Spectral Clustering) демонстрируют удовлетворительную эффективность при идентификации единичных отклонений, однако их диагностическая мощность в отношении групповых схем радикально возрастает при интеграции с графовыми техниками. Экспериментальные данные (Таблица 1) свидетельствуют, что комбинирование Node2Vec для генерации векторных представлений узлов с Random Forest-классификатором обеспечивает прирост точности и полноты относительно изолированного применения моделей, являющихся транзакционными. Ключевые технологические вызовы подразумевают всего два аспекта:

1. Экспоненциальный рост вычислительной сложности непосредственно при масштабировании на большие графы, требующий специализированной инфраструктуры обработки.
2. Критическая зависимость качества прогнозирования от полноты, а также достоверности исходных данных.

Первый фактор ограничивает операционное применение в системах реального времени, а второй, в свою очередь, требует внедрения многоуровневых процедур верификации данных:

1. Нейтрализацию семантических шумов.
2. Коррекцию некорректных атрибутов.
3. Восстановление пропущенных связей через методы графовой аппроксимации.

Перспективы развития направления связаны с синтезом компонентов:

1. Оптимизация распределенных вычислений для осуществления обработки динамических графов.
2. Интеграция темпоральных характеристик непосредственно в анализ сетевой эволюции.
3. Применение графовых нейросетей (GNN) с целью выявления полиморфных паттернов сговора.

Заключение

Практическая значимость исследования подтверждается воспроизводимыми результатами детектирования синтетических мошеннических кластеров в тестовой выборке транзакций. Эмпирические результаты подтверждают действенность машинного обучения в идентификации латентных структур и патологических паттернов в транзакционных данных, коррелирующих с мошенническими схемами. Особую эффективность демонстрирует графоцентричный подход, осуществляющий трансформацию транзакционных цепочек в сетевые модели. Эта методология обеспечивает многоуровневый анализ, сочетающий исследование индивидуальных операций с выявлением комплексных взаимозависимостей между акторами — критически важный аспект для детектирования коллаборативного мошенничества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов В.Н. Математические методы и алгоритмы для анализа данных в финансовых системах. — М. // Наука, 2018. — 312 с.
2. Беляев А.В., Иванова И.А. Машинное обучение в банковской сфере: Применение и проблемы. — М. // Изд-во МГТУ, 2020. — 228 с.
3. Козлов С.А., Руднев А.В. Графовые модели и их применение в анализе финансовых данных. — СПб. // Бизнес-Пресс, 2019. — 196 с.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.17

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ АКТУАЛИЗАЦИИ ШТАТНОГО РАСПИСАНИЯ В РАМКАХ ВЕБ-СЕРВИСА «РИСКПРОФ»

DEVELOPMENT OF A SUBSYSTEM FOR UPDATING THE STAFFING TABLE WITHIN THE FRAMEWORK OF THE WEB SERVICE «RISKPROF»

D. Kopeliovich
B. Pruss
M. Kurguz

Summary. The article describes the developed subsystem that allows updating the staffing schedule as part of the RiskProf web service. The developed subsystem has a user-friendly interface and a sufficient number of functions that allow the user to automatically carry out activities for a special assessment of working conditions. The developed subsystem solves the problem of comparing workplaces from the staffing schedule with reports of the working conditions assessment system. The results of testing the information system show that it correctly and accurately performs the necessary transformations of the staffing schedule, and the system itself is convenient and easy to use.

Keywords: information system, automation of calculations, system of assessment of working conditions.

Копелиович Дмитрий Игоревич
Кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
dkopeliovich@.ru
Прусс Борис Наумович
Кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»
prussbor@gmail.com
Кургуз Михаил Андреевич
Аспирант, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
mihail.kurguz2016@yandex.ru

Аннотация. В статье описана разработанная подсистема, позволяющая актуализировать штатное расписание в составе вебсервиса «РискПроф». Разработанная подсистема имеет удобный интерфейс и достаточное количество функций, позволяющих пользователю автоматически проводить мероприятия по специальной оценке условий труда. С помощью разработанной подсиситемы решается задача сопоставления рабочих мест из штатного расписания с отчетами системы оценки условий труда. Результаты апробации информационной системы показывают, что она корректно и точно выполняет необходимые преобразования штатного расписания и при этом сама система удобна и проста в обращении.

Ключевые слова: информационная система, автоматизация расчетов, система оценки условий труда.

Во многих профессиях обеспечение безопасного труда работников, является актуальной задачей. Данная задача решается на основе внедрения системы управления охраной труда (далее СОУТ) — единого комплекса последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса и оценке уровня из воздействия на работника. При этом автоматизация проведения мероприятий по специальной оценке условий труда является важным аспектом для решения вопросов безопасности работников в трудовых условиях. Соответственно создание и совершенствование автоматизированной системы, которая направлена на облегчение и ускорение данной работы, является актуальной задачей, позволяющей повысить качество управления. Экспертам необходимо сопоставлять рабочие места из штатного расписания с отчетами СОУТ для обеспечения безопасности на рабочих местах, а также для расчета гарантий и компенсаций для людей, находящихся во вредных условиях труда и поддерживать штатное расписание в актуальном состоянии. Именно поэтому необходимо разработать подсистему, которая позволит пользователям решать задачу актуализации рабочих мест штатного расписания с сопоставлением рабочих мест с классами условий труда.

Для решения поставленной задачи было принято решение о разработке веб-приложения, в основе которой лежит разработка алгоритма, который позволит сопоставить рабочие места из штатного расписания с рабочими местами из отчетов СОУТ, при этом необходимо уделить большое внимание требованиям и качеству разработки [1]. Данный алгоритм позволит быстро и качественно присваивать рабочим местам классы условий труда при проведенной ранее специальной оценки условий труда.

По мере изучения специализированной литературы были определены задачи, которые будут решаться с по-

мощью разрабатываемого алгоритма. Алгоритм будет иметь 7 шагов, который разделены на четыре логические группы:

1. Группа: подготовительные действия
1.1. Шаг: входные данные алгоритма — перечень рабочих мест (как правило штатное расписание предприятия), перечень отчетов СОУТ.
2. Группа: настройка алгоритма сопоставления
2.1. Шаг: выбор целевых полей (параметров рабочего места), которые пользователь укажет для сопоставления;
2.2. Шаг: выбор тегов, которыми пользователь хочет разметить результаты работы алгоритма;
2.3. Шаг: выбор отчетов СОУТ, которые должны участвовать в ходе работы алгоритма сопоставления.
3. Группа: ход работы алгоритма
3.1. Шаг: взять в обработку рабочее место из перечня рабочих мест для сопоставления;
3.2. Шаг: взять первый отчет СОУТ из выбранных для сопоставления;
3.3. Шаг: попытаться найти рабочие места из отчета СОУТ, используя поля, заданные в настройках.
3.4. Шаг: в случае сопоставления присвоить рабочему месту класс условий труда и ссылку на отчет СОУТ, в котором нашлось сопоставление
3.5. Шаг: в случае отсутствия сопоставления взять в обработку следующий отчет СОУТ
3.6. Шаг: после прохождения всех материалов взять в обработку следующее рабочее место из перечня рабочих мест
3.7. Шаг: по мере обработки рабочих мест формировать новый перечень из рабочих мест, прошедших процедуру сопоставления
3.8. Шаг: после обработки всех рабочих мест пересчитать для каждого сопоставленного места количество ссылок на отчеты

СОУТ, с которыми проводилось сопоставление

4. Группа: результаты работы
4.1. Шаг: если количество ссылок на отчеты СОУТ больше одной, то присвоить рабочему месту тег «множественное связывание», а также присвоить класс условий труда из самого последнего по дате поданного отчета СОУТ и предоставить возможность разрешения конфликта на пользовательском интерфейсе с помощью удаления лишних ссылок или замены присвоенной автоматически ссылки
4.2. Шаг: если количество ссылок равно единице, то присвоить рабочему месту тег «сопоставлено»
4.3. Шаг: если количество ссылок меньше единицы, то присвоить тег «не сопоставлено»
4.4. Шаг: алгоритм предоставляет пользователю сформированный перечень рабочих мест с тегами и классами условий труда формата входных данных

После определения шагов алгоритма сопоставления были определены средства разработки.

В качестве языка программирования был выбран C#. Основными преимуществами являются:

1. Большой набор функций и инструментов, которые позволяют разработчикам создавать сложные и масштабируемые приложения.
2. Кроссплатформенность — позволяет запускать программу на разных операционных системах, не меняя исходный код программы.

В качестве архитектуры была выбрана модель клиент-сервер. В такой архитектуре клиент, обычно являющийся пользователем, запрашивает услуги и ресурсы у сервера, который отвечает на запросы, предоставляя необходимые данные и функциональность.

Серверная часть реализована с помощью платформы ASP.NET Core, используя концепцию MVC. Разделение ответственности, получаемое с помощью использования MVC, позволяет эффективно масштабировать приложение в зависимости от его сложности, что сокращает время разработки веб-приложения.

Клиентская часть содержит отображаемые страницы и будет реализовано через «представления». Представление в MVC представляет собой HTML-шаблон с встроенной Razor-разметкой, которая позволяет взаимодействовать с HTML для формирования веб-страницы, отправляемой клиенту. Также в клиентской разработке будет использовать JavaScript — объектно-ориентированный язык программирования, который применяется преимущественно для создания интерактивных веб-страниц совместно с использованием библиотеки jQuery для облегчения обращения к элементам HTMLстраницы и взаимодействия с сервером.

База данных представляет собой документно-ориентированный подход организации данных NoSQL-типа и не требует дополнительных средств разработки. Такой подход обусловлен тем, что все сущности одинаковую структуру — перечень рабочих мест, который удобно представлять в виде Xml-документа.

В качестве среды разработки была выбрана и использована Visual Studio (Community Edition 2022) от компании Microsoft [2].

Для реализации задач было выполнено проектирование архитектуры подсистемы. Концептуально разрабатываемая подсистема интегрируется в большую систему как отдельный модуль (рисунок 1).

Архитектура разрабатываемой подсистемы, согласно структуре MVC разделена на серверную часть, в которой

происходит работа алгоритма сопоставления (backend), клиентскую часть — программный интерфейс (frontend) и объединяющий класс — Controller.

Рис. 1. Архитектура информационной системы

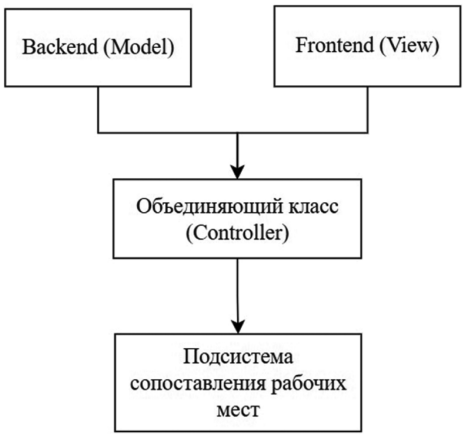


Рис. 2. Архитектура подсистемы сопоставления

Для реализации подсистемы сопоставления рабочих мест, необходимо разработать необходимые сущности, которые отражены на диаграмме классов (см. рисунок 3). Ниже дано описание основных классов.

1. Uinion — класс, описывающий объединение перечней рабочих мест. Такой класс содержит перечень отчетов СОУТ, с которыми проводится сопоставление (List<UinionSource> Sources), список рабочих мест, которые являются результирующими после работы алгоритма сопоставления (List<UinionWorkpalces> Workpalces), список тегов, которыми размечается результат работы алгоритма (List<Tag> Tags).
2. UnionWorkplace — класс, который определяет структуру рабочего места, которая образуется в результате алгоритма сопоставления.
3. UnionWorkplaceSource — класс, описывающий из какого рабочего места источника данных (отчета СОУТ) взяты данные для рабочего места UnionWorkplace
4. Tag — класс, описывающий тэги, которыми размечаются рабочие места после выполнения алгоритма сопоставления.
5. UnionSource — класс, описывающий источники, на основе которых был создан объект объединения рабочих мест и место расположения данного объекта.

Для того, чтобы лучше понимать как должна работать актуализация перечня рабочих мест, необходимо спроектировать диаграмму, которая отразит процессы, участвующие в процессе работы (см. рисунок 4).

Диаграмма позволяет отследить весь путь от момента импорта необходимых отчетов СОУТ до актуализации целевого перечня рабочих мест.

1. Сначала необходимо произвести загрузку целевого перечня рабочих мест в систему — штатное расписание
2. Затем в систему импортируются все необходимые отчеты СОУТ
3. После этого система конвертирует все входные перечни в унифицированную сущность «ПРМ» — перечень рабочих мест и сохраняет в папке проекта.
4. Далее происходит создание сущности «Union» — объединение, где будет производиться актуализация целевого перечня рабочих мест на основе «ПРМ_ШР»
5. С помощью алгоритма сопоставления происходит актуализация штатного расписания и итоговый перечень рабочих мест с актуальными классами условий труда сохраняется в папку проекта.

Для понимания того, как будут храниться сущности системы реализуем файловое хранилище системы. Как было сказано ранее в системе используется документно-ориентированный подход к организации данных.

Ниже рассказано как укомплектовано хранилище пользовательского кабинета в рамках модуля Риск-Проф — Специальная оценка условий труда. Она отражает папки и xml-документы, входящие в состав системы. Также она подчеркивает, что любой материал системы преобразовывается в единую сущность «перечень рабочих мест» одинаковой структуры (WorkpalceList.xml), которая обеспечивает удобное взаимодействие внутри системы, в том числе при применении алгоритма сопоставления рабочих мест.

1. Папка Cabinet является корневой папкой организации, которая пользуется системой.
2. Папка SOUT означает, что вся дочерняя информация будет относиться к модулю СОУТ.
3. ProjectList.xml представляет собой своеобразный манифест файл, в котором содержится вся информация о проектах, созданных в системе — некая группировка перечней рабочих мест, загружаемых в систему
4. Внутри проекта (project_1) находится файл project.xml, содержащий информацию о перечнях рабочих мест, импортируемых в рамках проекта

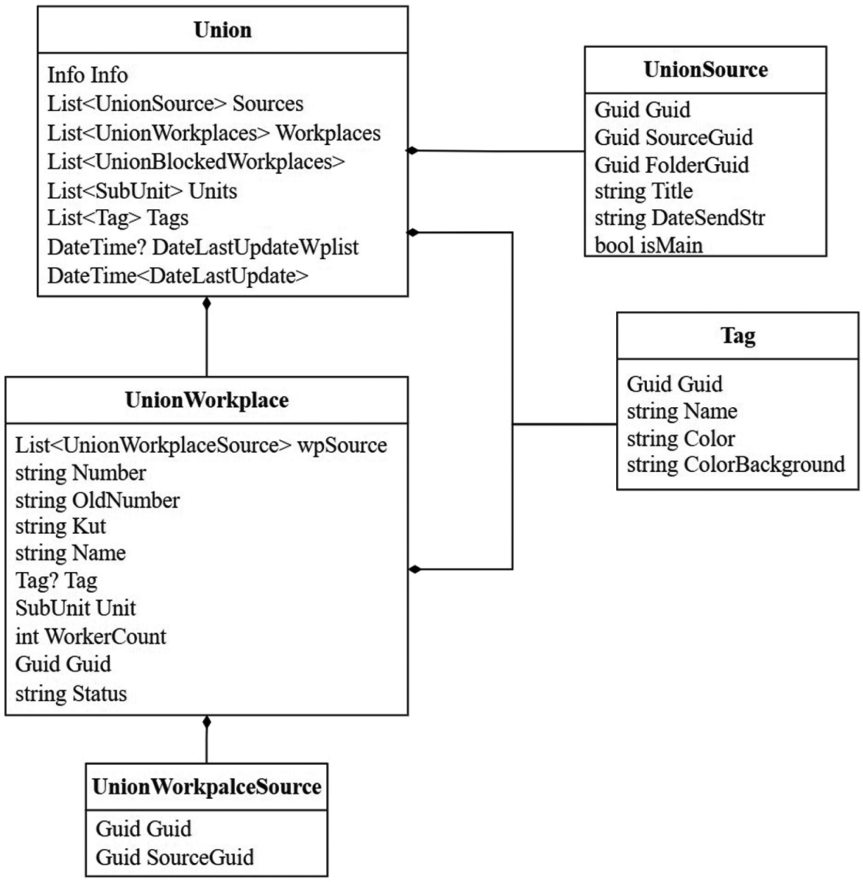


Рис. 3. Диаграмма классов

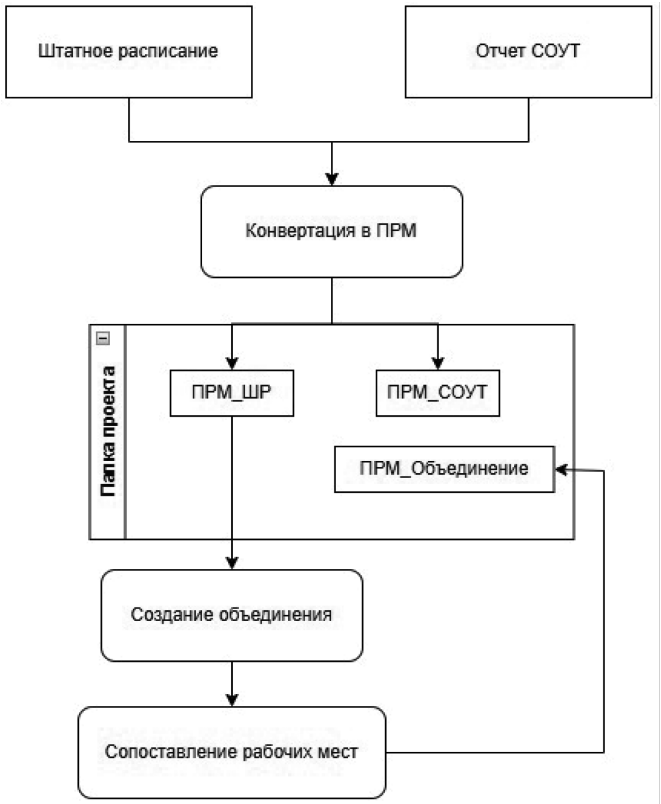


Рис. 4. Диаграмма процессов

5. Далее идет папка самих перечней рабочих мест (wplist_1 и wplist_2), которые содержат исходный импортируемый файл, если он пришел в систему извне (data.sout) и файл workplaceList.xml — унифицированный перечень рабочих мест, который создался внутри системы на основе исходного файла

Благодаря разработанной архитектуре, сущностей и файлового хранилища можно перейти к непосредственной реализации алгоритма сопоставления рабочих мест. Разработка алгоритма включает особенности сопоставления, которые были учтены и отражены в списке задач.

После создания алгоритма было проведено тестирование подсистемы сопоставления рабочих мест. Для того, чтобы подтвердить работоспособность алгоритма сопоставления рабочих мест необходимо составить сценарии тестирования, подготовить специализированные входные данные, сравнить результаты работа алгоритма и ручного сопоставления.

На рисунке 5–6 показан план ручного сопоставления рабочих мест — слева на рисунке показан источник данных — отчет СОУТ, справа показа перечень рабочих мест, который необходимо актуализировать классами условий труда. Стрелками показано сопоставление, которой должно произойти в результате работы алгоритма

Рис. 5. План ручного сопоставления рабочих мест

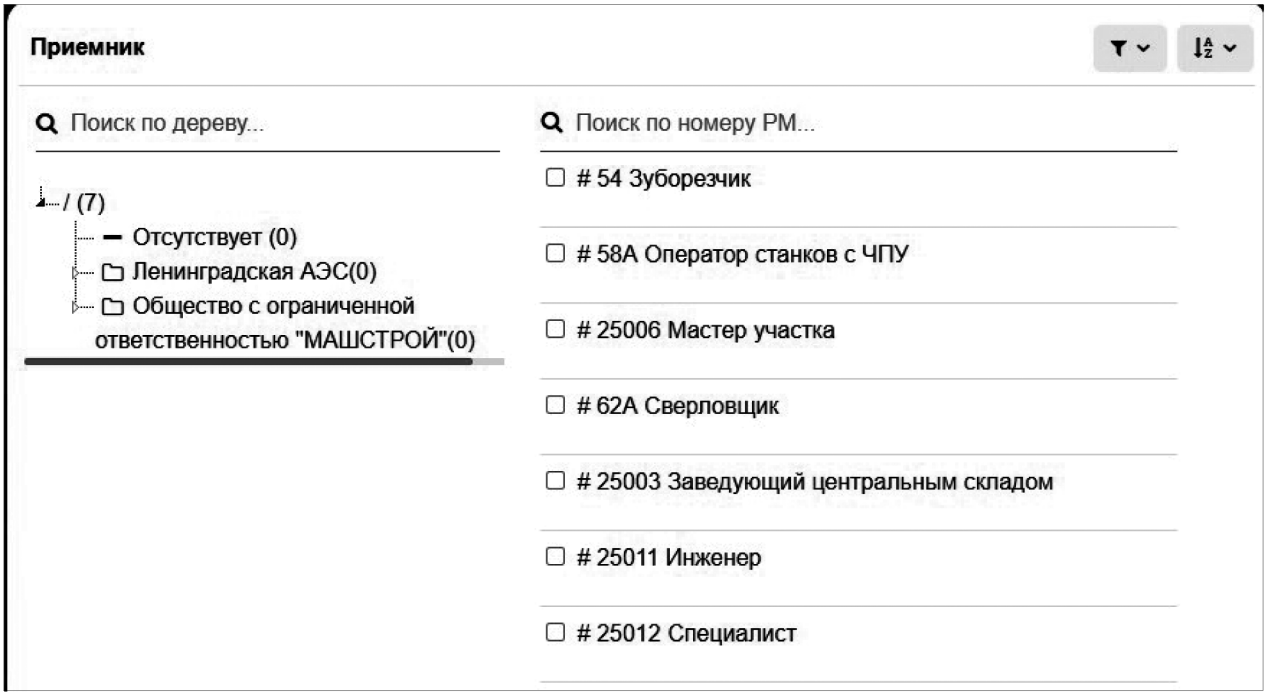


Рис. 6. План ручного сопоставления рабочих мест

сопоставления (откуда взять класс условий труда и какому рабочему месту его присвоить).

На рисунке 7 показан результат работы алгоритма сопоставления для целевых рабочих мест их примера ручного сопоставления.

Алгоритм сопоставления рабочих мест работает корректно, результаты предоставлены в требуемой форме. Соответственно подсистема позволяет пользователям решать задачу актуализации рабочих мест штатного расписания с сопоставлением рабочих мест с классами условий труда. Также сформулированы выводы по реализованной подсистеме [3]. Следует отметить, что данная подсистема повышает качество принятия управленческих и организационных решений на предприятиях.

Рис. 7. Результат работы алгоритма

ЛИТЕРАТУРА

1. Копелиович Д.И., Кургуз М.А., Лебедев В.В. Микросервисная архитектура как разновидность сервис-ориентированной архитектуры // Наукосфеера, 2022.— С.230–235
2. Самоучитель Microsoft Visual Studio C++ и MFC. Т.Л.Сидорина — СПб.: БХВ-Петербург, 2009. — 848 с.
3. Копелиович Д.И., Назаров А.А., Кургуз М.А. Автоматизированная система по рекомендации проведения медосмотров для сотрудников организации на основании сведений о рабочем месте// Инициативы молодых — науке и производству. Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов. Под научной редакцией А.В. Носова. Пенза, 2022. С. 248–254.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.18

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

MODELING OF THE ATMOSPHERIC AIR QUALITY ASSESSMENT SYSTEM

M. Kravtsova
V. Krainov
M. Kravtsov

Summary. A model of the atmospheric air quality assessment system is presented, which can be used as a digital twin to assess the quality of atmospheric air, reflecting its dynamic changes due to mathematical modeling of the process of dispersion of pollutants in the atmospheric air. Due to the availability of various methods of mathematical modeling of the scattering process, a general algorithm for selecting a mathematical model has been developed for the formation of the computational core of the system at the stage of its implementation, including the stages of determining research goals, analyzing limiting parameters, analyzing input parameters, parallel calculation and statistical comparison. Based on the general algorithm, a detailed algorithm for choosing a dispersion model is obtained by detailing it.

Keywords: mathematical model, atmospheric air quality, dispersion of pollutant emissions.

Кравцова Марианна Викторовна
канд. пед. наук, доцент,
директор ООО «ЭКОБЮРО» г. Тольятти
m.v.kravtsova@yandex.ru
Крайнов Вадим Александрович
инженер ООО «ЭКОБЮРО» г. Тольятти
Vadim.craynov@yandex.ru
Кравцов Михаил Валериевич
начальник проектного отдела
ООО «ЭКОБЮРО» г. Тольятти
eco_engineer_63@mail.ru

Аннотация. Представлена модель системы оценки качества атмосферного воздуха, которую можно использовать как цифровой двойник для оценки качества атмосферного воздуха, отображающим его динамические изменения за счёт математического моделирования процесса рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. С учетом различных методов математического моделирования процесса рассеивания, для формирования расчётного ядра системы на этапе её внедрения разработан общий алгоритм выбора математической модели, включающий стадии определения целей исследования, анализа ограничивающих параметров, анализа входных параметров, параллельного расчёта и статистического сравнения. На основании общего алгоритма путём его детализации получен детальный алгоритм выбора дисперсионной модели.

Ключевые слова: математическая модель, качество атмосферного воздуха, рассеивание выбросов загрязняющих веществ.

Модель системы оценки качества атмосферного воздуха представляет собой совокупность базы данных, необходимых для процесса моделирования, расчётного модуля, осуществляющего собственно процесс моделирования, и базы данных результатов моделирования. Структура предлагаемой системы отображена на рисунке 1 [3,4–10].

Модель системы оценки качества атмосферного воздуха или модель Единой информационной системы включает:

1. Систему сбора исходных данных служит для формирования базы данных, необходимых для осуществления процесса моделирования, в которую входят: система генплана и геодезии, формирующую базу данных о пространственном расположении источников выделения загрязняющих веществ и их геометрических характеристиках; система учёта выбросов, формирующую базу данных о количестве выбросов загрязняющих веществ и их физико-химических характеристиках; система учёта автотранспорта, формирующую базу данных по интенсивности движения разных групп автомобилей по автомобильным дорогам и формирует данные о выбросах загрязняющих веществ от автотранспорта по ГОСТ Р 56162–2019; система учёта метеоусловий и фактического загрязнения, формирующую базу данных о метеорологических параметрах и фактическом уровне загрязнения для периодической верификации; реестр зеленых насаждений и земельных участков, формирующий базу данных о составе зелёных насаждений и состоянии земель в целях учёта процесса поглощения парниковых газов по методике, утверждённой Распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 N 20-р.
2. Систему фактического и прогнозного расчёта, осуществляющая процесс моделирования на основании динамично обновляющихся исходных данных, а также прогноз состояния атмосферного воздуха по усредненным показателям выбросов и данным метеорологического прогноза, в том

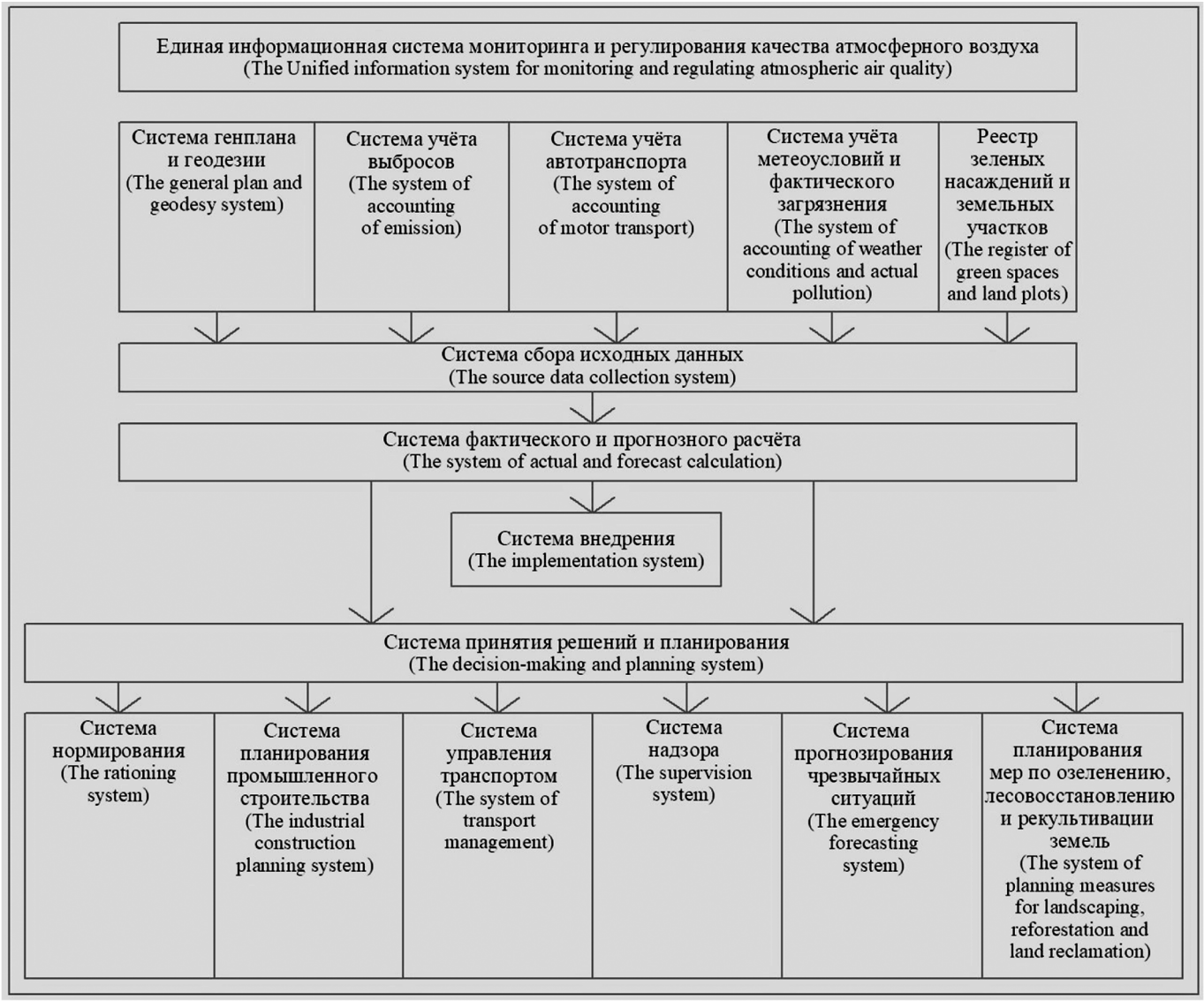


Рис. 1. Структура модели системы оценки качества атмосферного воздуха

число для множества источников и перечня групп суммации.

3. Систему принятия решений и планирования, которая состоит из: системы нормирования (на основании фактического и прогнозного расчёта производится обоснование предельно–допустимого выброса загрязняющего вещества); системы планирования промышленного строительства (позволяет обосновать допустимость строительства новых объектов в рамках процедуры оценки воздействия на окружающую среду и государственной экологической экспертизы); системы управления автотранспортом (определяет загруженные участки автомобильных дорог, оказывающие наибольший вклад в общее загрязнение атмосферного воздуха, и принимать решения о изменении системы регулирования движения); системы надзора (отслеживает соблюдение природоохранного законодательства и выявляет факты нарушения на основании отклонений фактического загрязнения от расчётного); системы прогнозирования чрезвычайных ситуаций (прогнозирование развития различных сценариев техногенных аварий на основании прогнозного расчета, с последующей выработкой плана реагирования); системы планирования мероприятий по озеленению, лесовосстановлению и рекультивации земель, позволяющая на основании расчётных данных выявлять участки, комплексная рекультивация которых первостепенно важна для поглощения парниковых газов.

Общий алгоритм выбора оптимальной математической модели, применимый для различных процессов включает стадии (рисунок 2):

1. Определение цели расчёта: выявлено множество моделей M1-MV, описывающих различные процессы, необходимо определить цели расчёта —

выбор выходных переменных, образуя множество моделей N1-NK, причем количество моделей K меньше или равно V.

2. Анализ ограничивающих параметров: множество моделей N1-NK подвергается анализу на предмет соответствия предполагаемого расчёта ограничивающим параметрам. Дальнейшему рассмотрению подлежат модели, отвечающие указанным параметрам, образуя множество Z1-ZT, причем количество моделей T меньше или равно K.
3. Анализ входных параметров: множество моделей Z1-ZT подвергается анализу на предмет обеспеченности исследователя входными данными для расчёта. Дальнейшему рассмотрению подлежат модели, отвечающие указанным параметрам, образуя множество F1-FH, причем количество моделей H меньше или равно T.
4. Параллельный расчет и сравнительный анализ результатов расчета: множество моделей F1-FH, осуществляется расчет и сравнение с экспериментальными данными. Оптимальной признается модель, обеспечивающая минимальную относительную погрешность расчета.

Алгоритм выбора дисперсионной модели получен путем детализации предложенного алгоритма. Предварительно необходимо провести анализ выявленных моделей на предмет ограничивающих, входных и выходных параметров.

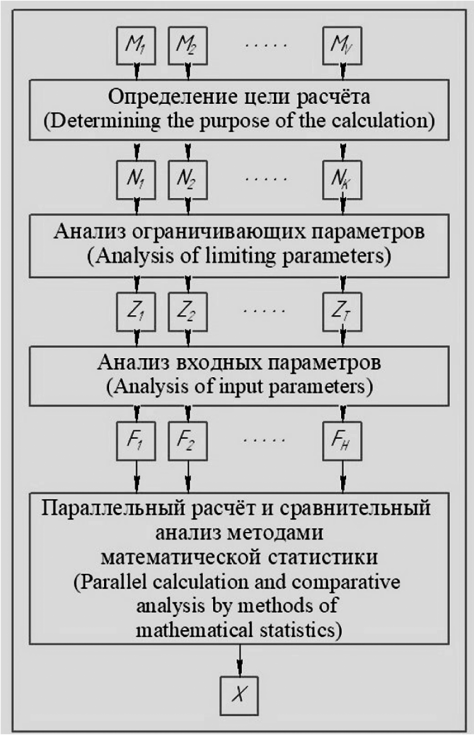


Рис. 2. Общий алгоритм выбора оптимальной модели

Для анализа моделей на предмет ограничивающих, входных и выходных параметров лучше всего исполь-

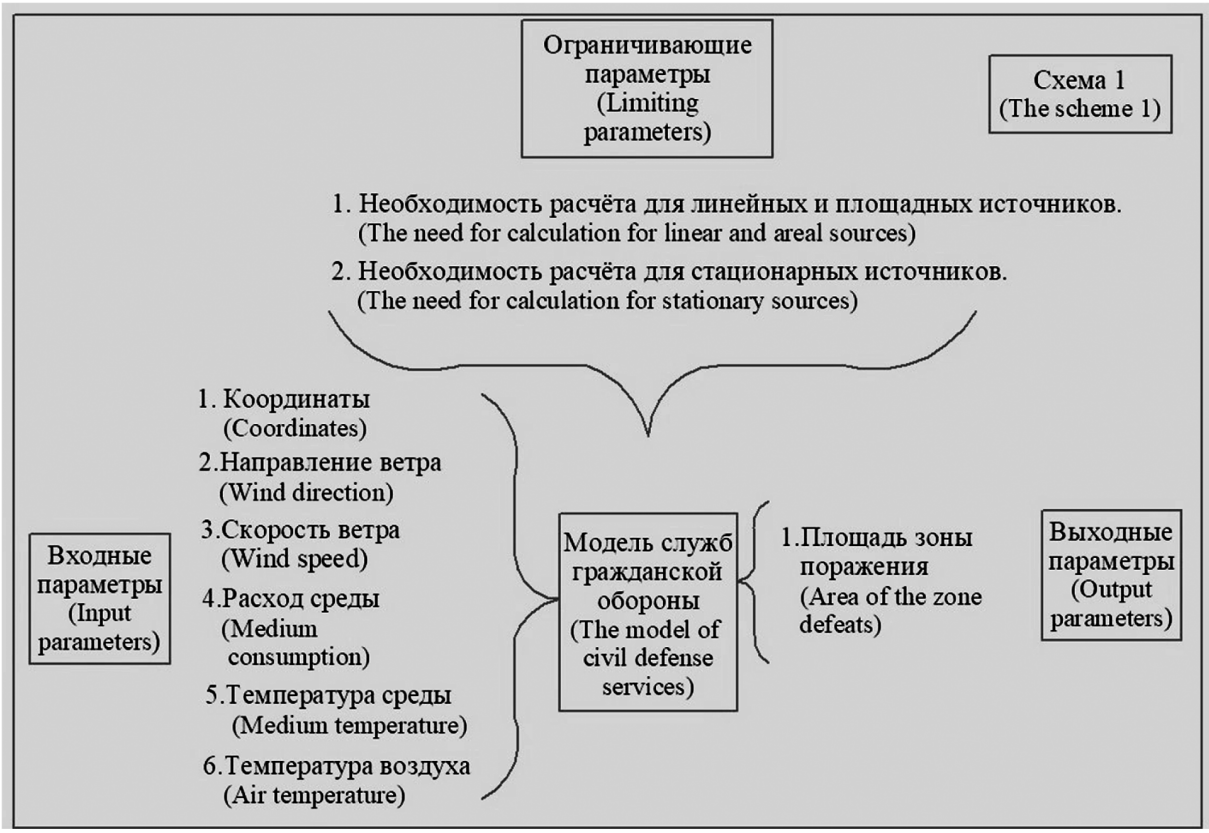


Рис. 3. Модель служб Гражданской обороны

зовать структурные схемы, представляющих собой модель типа «черный ящик». Приведем схемы для модели служб Гражданской обороны, модели Берлянда, модели Паскуилла — Гиффорда, мезомасштабной и региональной моделей Института экспериментальной метеорологии, модели Института вычислительной математики и математической геофизики на рисунках 3–8 соответственно [2,3,6].

На основании общего алгоритма и разработанных структурных схем можем приступить к разработке детального алгоритма выбора дисперсионной модели.

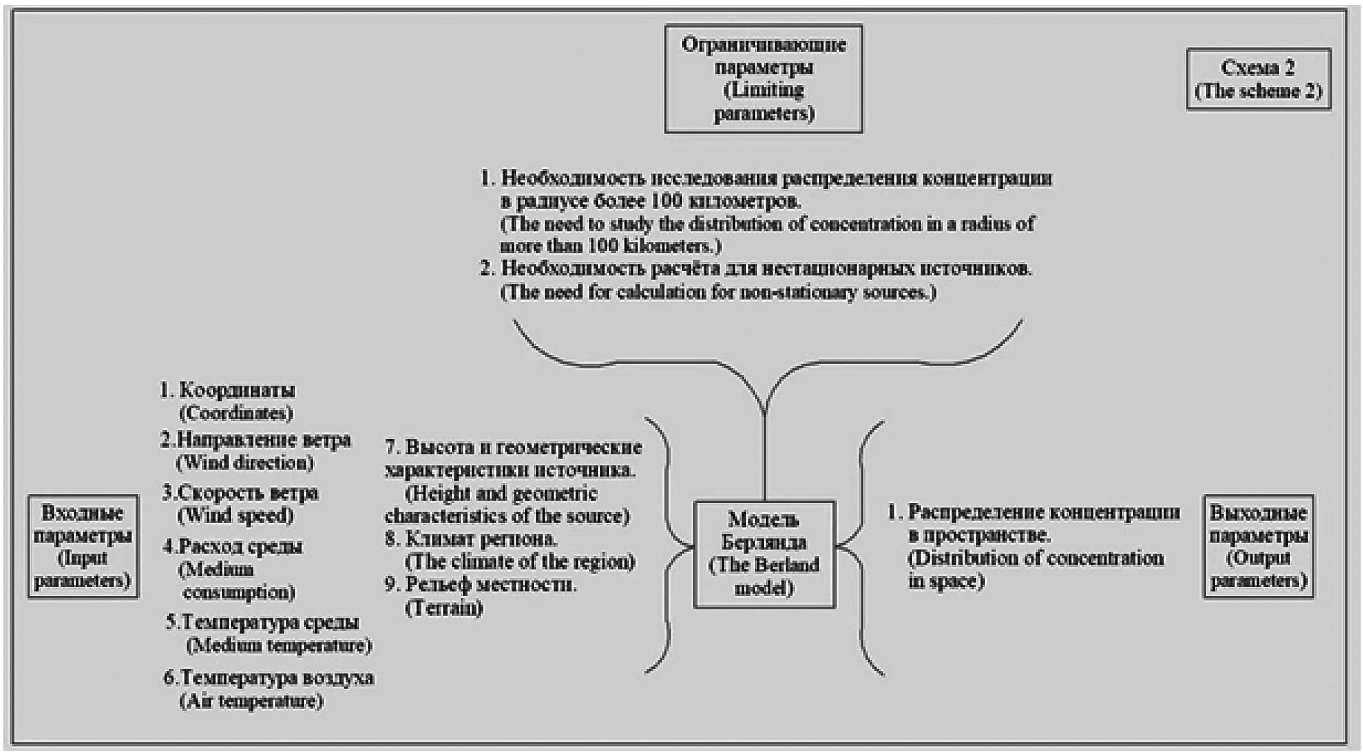


Рис. 4. Модель Берлянда

Рис. 5. Модель Паскуилла — Гиффорда

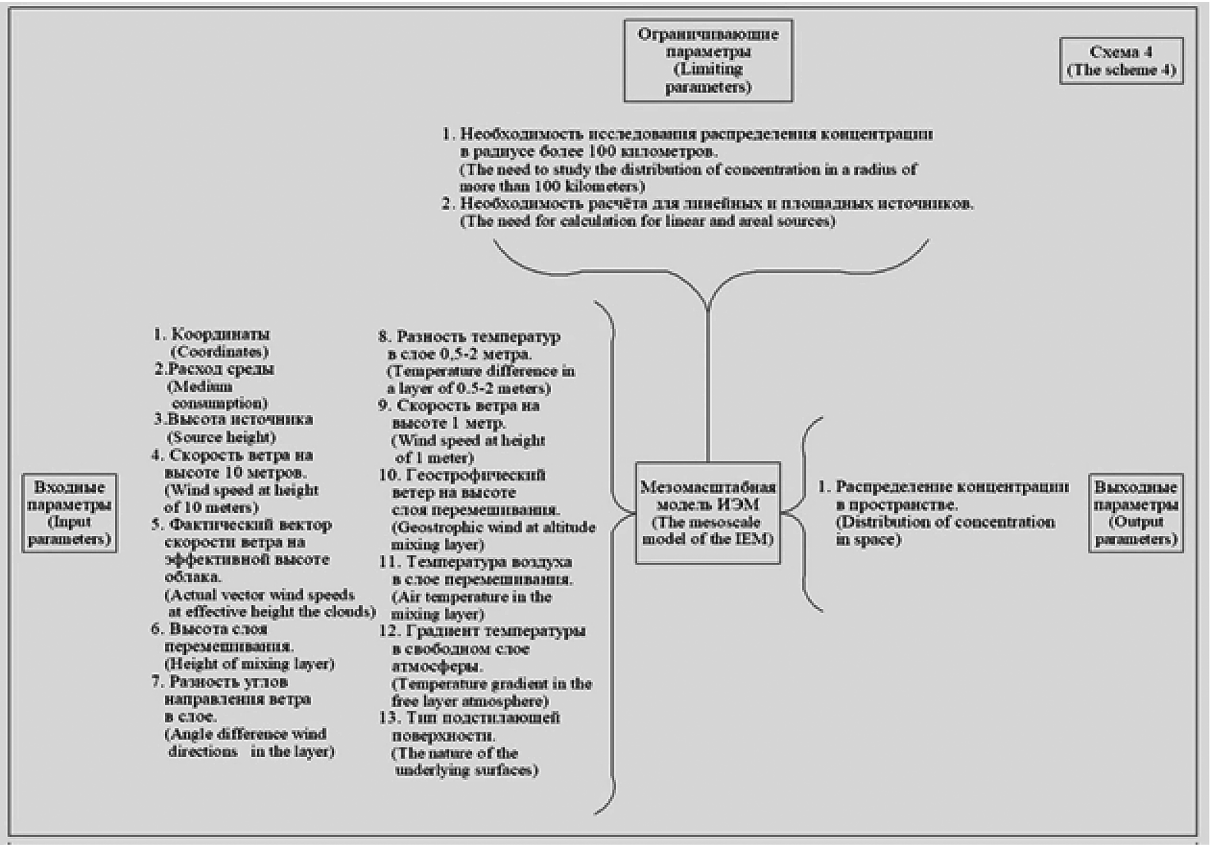


Рис. 6. Мезомасштабная модель ИЭМ

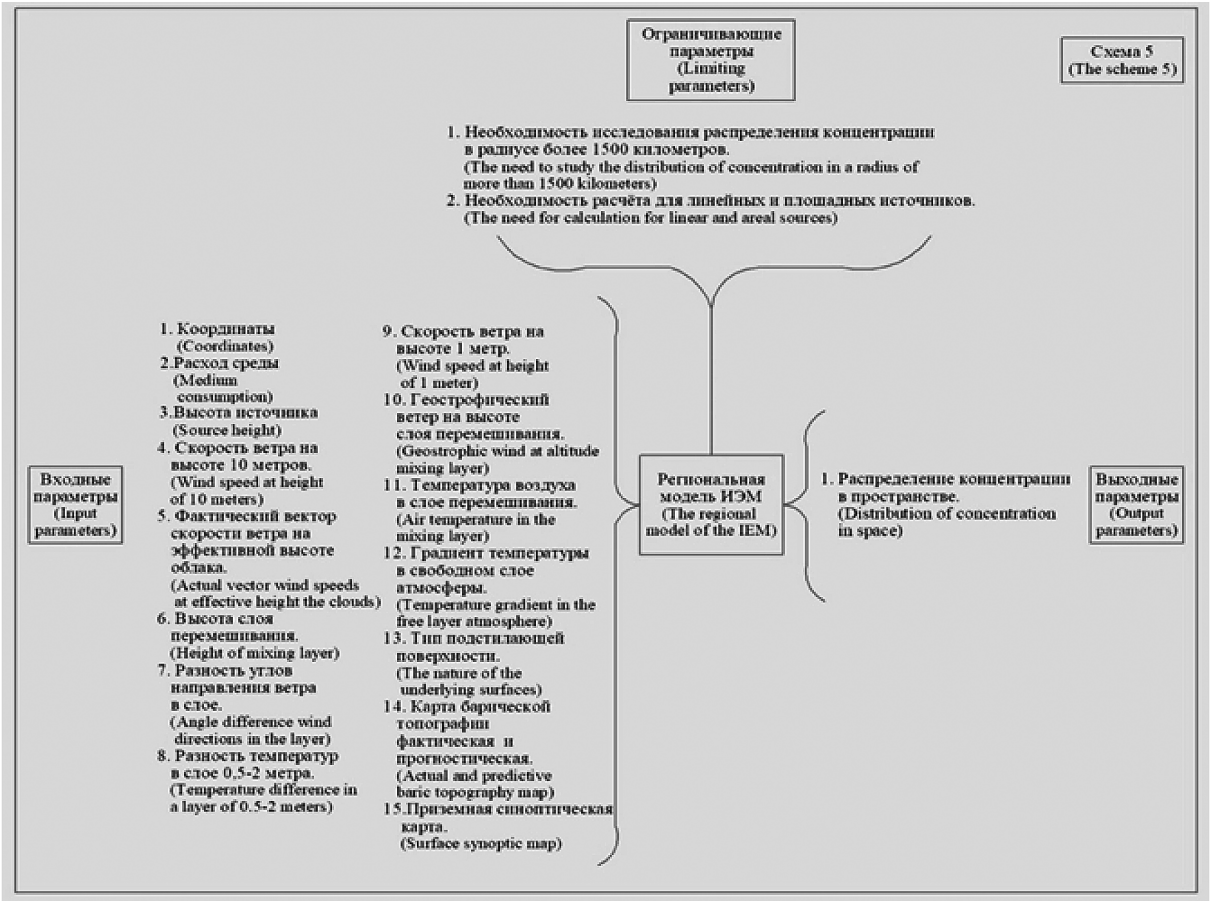


Рис. 7. Региональная модель ИЭМ

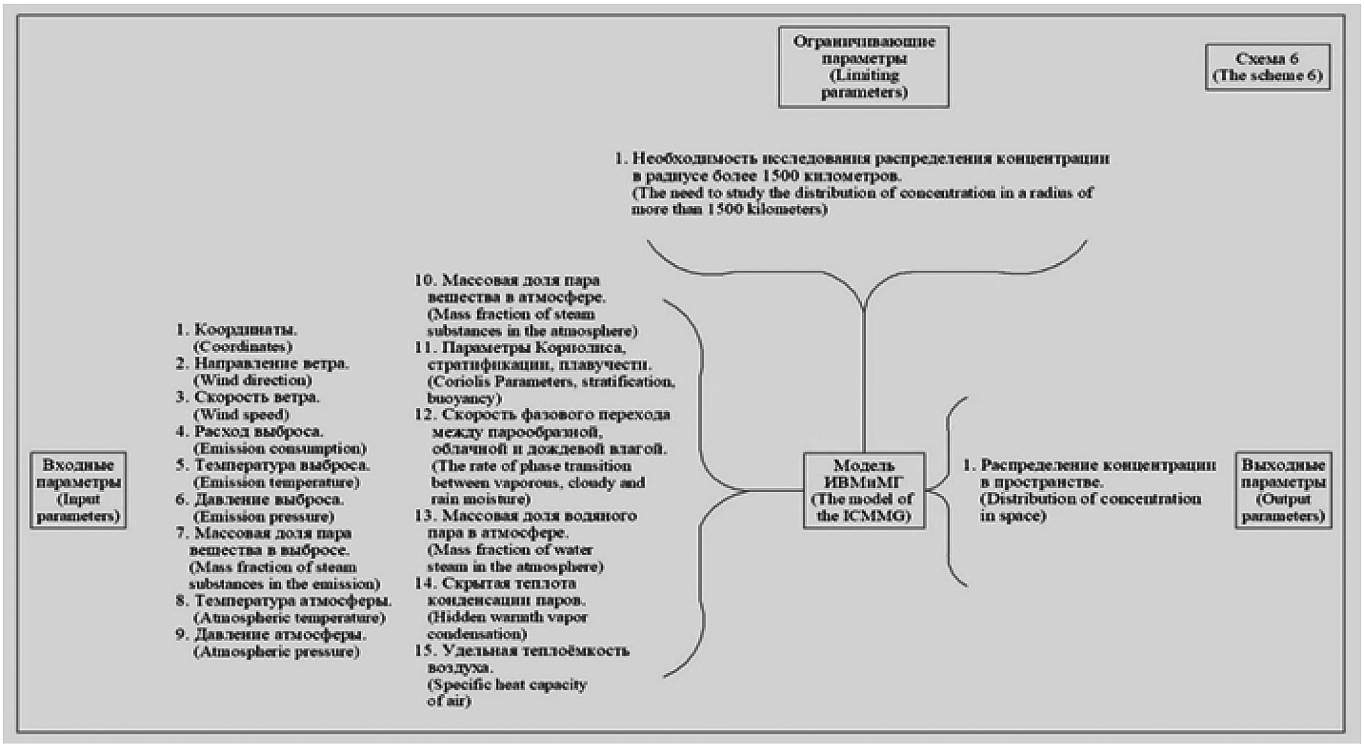


Рис. 8. Модель ИВМиМГ

Путем детализации общего алгоритма получен детальный алгоритм выбора дисперсионной модели, приведем его на рисунках 9–10. Подвергнем анализу полученный алгоритм.

1. На первой стадии определяется цель расчёта и выделяется две группы моделей — позволяющие рассчитать зону поражения или распределение вещества в пространстве.
2. На втором этапе осуществляется анализ ограничивающих параметров, среди которых выделены возможность расчёта в предполагаемом радиусе загрязнения и возможность расчёта для определенного типа источников.
3. На третьей стадии осуществляется анализ входных параметров моделей в соответствии с разработанными структурными схемами моделей.
4. На четвертой стадии модели, прошедшие предыдущие этапы отбора, подвергаются параллельному расчету, определению относительных погрешностей в сравнении с экспериментальными данными и сравнительному статистическому анализу. Оптимальной признается модель с минимальными относительными погрешностями.

В рамках настоящей статьи:

1. Предложена модель Единой информационной системы мониторинга и регулирования качества атмосферного воздуха, представляющая собой цифровой двойник, состоящая из нескольких взаимосвязанных подсистем и обеспечивающая процессы управления. Структура системы разработана на основании осмысления системы взаимодействий техносферы и атмосферы, а также базовых механизмов действующего природоохранного законодательства.
2. Предложен общий алгоритм, позволяющий производить сравнительный анализ методов моделирования различных процессов, включающий несколько стадий — определение цели исследования, анализ ограничивающих параметров моделей, анализ входных параметров моделей, параллельный расчет и сравнительный анализ результатов расчета. Получен детальный алгоритм выбора дисперсионной модели путем детализации общего алгоритма.

Таким образом, в рамках работы предложена концепция процесса цифровизации контроля качества атмосферного воздуха, требующая выстраивания сложной архитектуры информационной сети, охватывающей промышленные предприятия и широкий круг профильных ведомств.

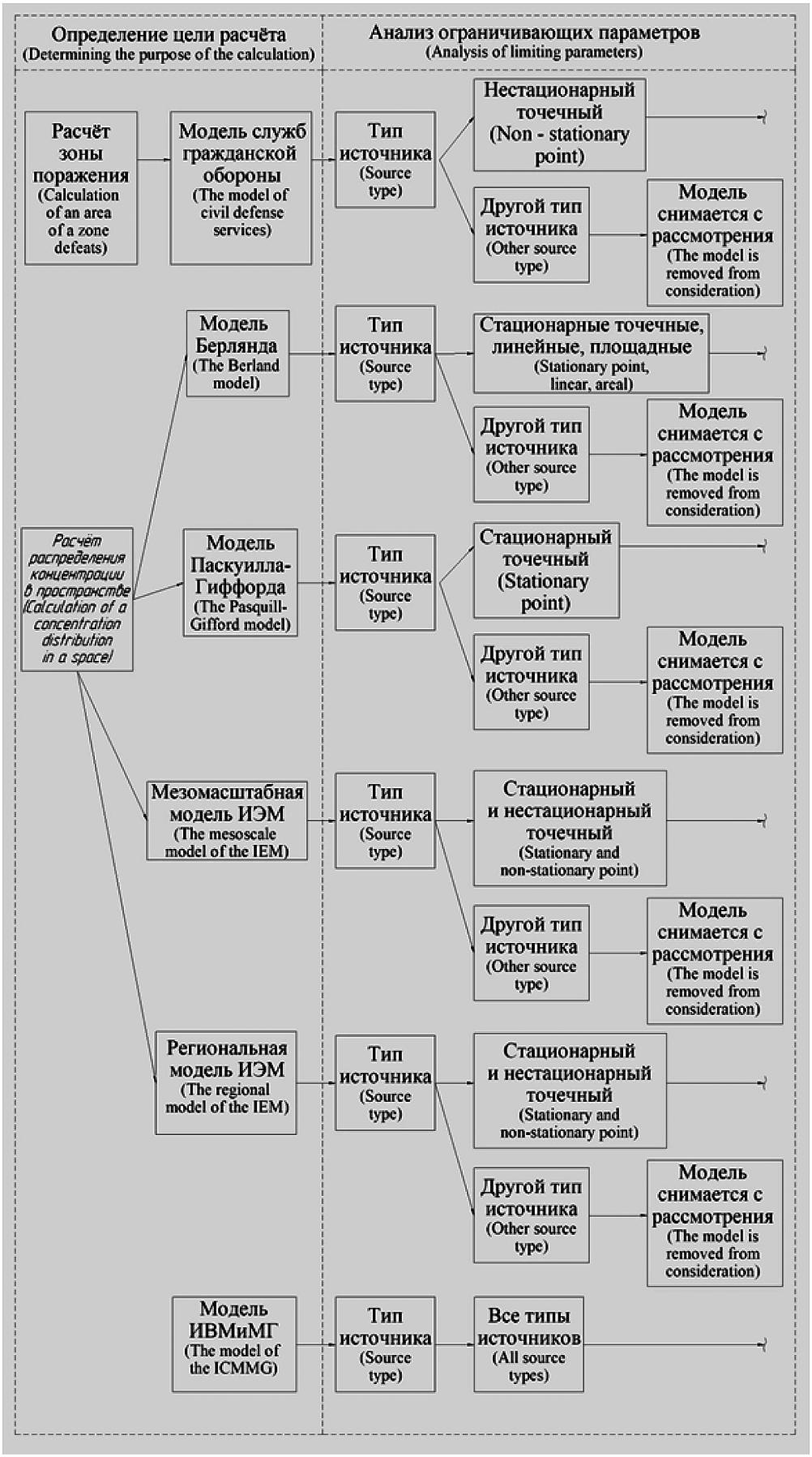


Рис. 9. Алгоритм выбора дисперсионной модели, часть первая

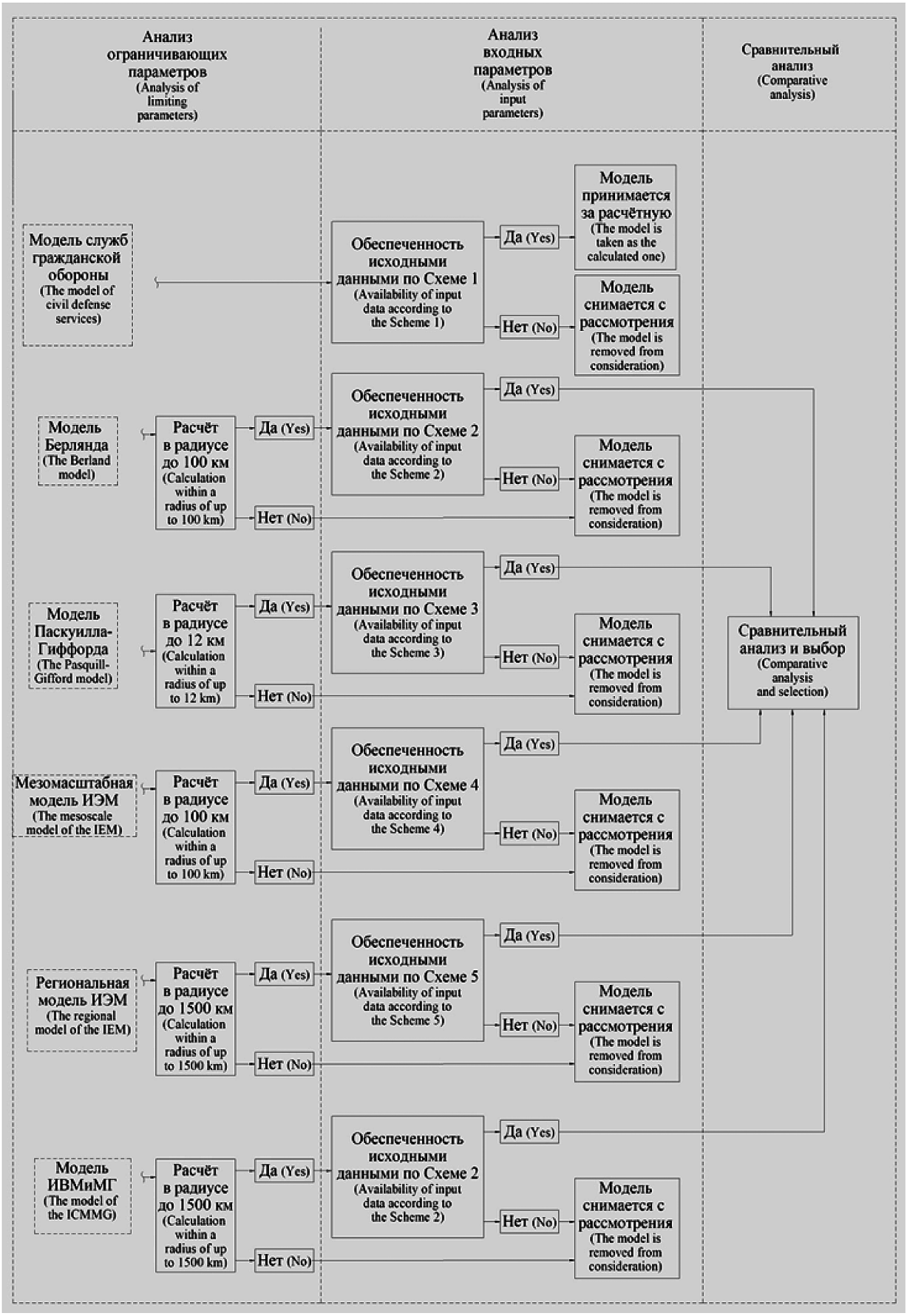


Рис. 10. Алгоритм выбора дисперсионной модели, часть вторая

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова А.М., Воробьев А.В., Воробьев В.А., Дутова Е.М., Покровский В.Д. Моделирование распространения в атмосфере загрязняющих веществ выбросов электростанций на базе программного комплекса «Skat» // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 6. С. 174–186.
2. Жижин Н.Н., Дьяков М.С., Ходяшев М.Б. Анализ средств управления качеством атмосферного воздуха в условиях крупного города // Анализ риска здоровью. 2019. № 4. С. 50–59.
3. Иванова Ю.П., Надер Б.Ю., Мишаков В.А., Шаповалова Ю.А., Иванова О.О., Азаров В.Н. Влияние метеорологических условий на рассеивание вредных выбросов в городской среде // Инженерный вестник Дона. 2020. №1.
4. Куракина Н.И., Мышко Р.А. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха промышленными объектами в технологии геоинформационных систем // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2021. № 5. С.21–27.
5. Ложкин В.Н., Буланцев Д.С. Модель диффузии угарного газа в условиях возникновения чрезвычайной ситуации на автомагистрали вблизи горящего торфяника // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского Университета Государственной Противопожарной Службы МЧС России». 2020. №1. С.10–15.
6. Пьянова Э.А., Пененко В.В., Фалейчик Л.М. Летний сценарий моделирования рассеивания примесей от источников выбросов в центральной экологической зоне байкальской природной территории // Интерэкспо гео-Сибирь. 2019. Т.4. №1. С.126–133.
7. Чернышев Л.О., Матвеев Ю.Н. Автоматизированная система поддержки принятия решений для прогнозирования процессов рассеивания химически опасных веществ // Программные продукты и системы. 2021. Т. 34. № 2. С. 307–315.
8. Шагидуллин А.Р. Применение сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха для решения задач по управлению качеством окружающей среды // Российский журнал прикладной экологии. 2022. №1. С. 60–67.
9. Balczo M., Di Sabatino S., Franke J., Grebec M., Karpinnen A., Meijer E., Moussafir J., Reif B.P., Tinarelli G., Trijssenaar-Buhre I. Evaluation, improvement and guidance for the use of local-scale emergency prediction and response tools for airborne hazards in built environments. COST Action ES1006. Brussels, 2012.
10. Sówka I., Kobus D. Chlebowska — Styś A., Zathey M. Characteristics of selected elements of the air quality management system in urban areas in Poland // International Conference on Advances in Energy Systems and Environmental Engineering (ASEE17). 2017. № 22.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.19

ПОДХОД ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ KWS НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ WAV2VEC 2.0

APPROACH TO CREATING A KWS SYSTEM BASED ON THE WAV2VEC 2.0 NEURAL NETWORK

Lin Yu.
Yu. Gapanyuk
G. Afanasyev

Summary. Spoken keyword spotting (KWS) continues to be a relevant problem due to the growth of multilingual speech interfaces. Existing approaches demonstrate limited efficiency in cross-language model transfer, which is especially critical for scenarios of device control via voice commands in low-resource languages such as Russian. The article describes the proposed approach to building a universal multilingual keyword detection architecture based on the pre-trained Wav2Vec 2.0 model with verification of the hypothesis about the applicability of large-scale speech pre-training for cross-linguistic tasks through the principles and mechanisms of transfer learning. The created Russian-language synthetic corpus of key commands via gTTS (Google Text-to-Speech) with phonetic diversity control made it possible to achieve 98.0 % accuracy on the reference English-language Google Speech Commands dataset. The consistency of the results for the Russian synthetic dataset was achieved at 97.1 %. The proposed approach allows: deployment of voice interfaces for rare languages without the need to collect large amounts of training data; reduction of computing resources due to reuse of pre-trained models.

Keywords: keyword recognition, KWS, Wav2Vec2.0, transfer learning, speech recognition, deep learning.

Линь Юаньси
Аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)
605972569@qq.com
Гапанюк Юрий Евгеньевич
К.т.н., доцент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)
sfm2007@yandex.ru
Афанасьев Геннадий Иванович
К.т.н., доцент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)
gaipcs@bmstu.ru

Аннотация. Распознавание ключевых слов (KWS, spoken keyword spotting) из-за наличия роста многоязычных речевых интерфейсов продолжает оставаться актуальной. Существующие подходы демонстрируют ограниченную эффективность при межъязыковом трансфере моделей, что особенно критично для сценариев управления устройствами через голосовые команды на низкоресурсных языках таких как, например, русский язык. В статье описывается предлагаемый поход для построения универсальной мультиязычной архитектуры обнаружения ключевых слов на базе предобученной модели Wav2Vec 2.0 с верификацией гипотезы о применимости крупномасштабного речевого предтренинга для кросс-лингвистических задач через принципы и механизмы трансферного обучения. Созданный русскоязычный синтетический корпус ключевых команд через gTTS (Google Text-to-Speech) с контролем фонетического разнообразия позволил достичь точности 98,0 % на эталонном англоязычном датасете Google Speech Commands. Была достигнута консистентность результатов для русского синтетического датасета в 97,1 %. Предлагаемый подход позволяет: развертывание голосовых интерфейсов для редких языков без необходимости сбора объемных тренировочных данных; сокращение вычислительных ресурсов за счет повторного использования предтренированных моделей.

Ключевые слова: распознавание ключевых слов, KWS, Wav2Vec2.0, трансферное обучение, распознавание речи, глубокое обучение.

Введение

С распространением интеллектуальных устройств голосовое взаимодействие становится одним из ключевых способов коммуникации между человеком и компьютером. Распознавание ключевых слов, выступающее в роли входной точки системы голосового управления, должно обеспечивать высокую точность и минимальную задержку при ограниченных вычислительных ресурсах. Традиционные подходы к распознаванию ключевых слов, как правило, опираются на вручную выделенные и разработанные акустические признаки, и нейронные модели, эффективность которых существенно снижается в условиях акустически сложной среды.

В последние годы самообучающиеся методы продемонстрировали значительный прогресс в задачах обучения представлений речи. Одним из наиболее заметных решений является модель Wav2Vec 2.0 [3], обеспечи-

вающая эффективное извлечение речевых признаков на основе масштабного неконтролируемого предварительного обучения. В условиях растущего спроса на многоязычные интеллектуальные системы становится актуальной задача разработки методов распознавания ключевых слов, способных эффективно функционировать в мультилингвальной среде. Однако получение качественных речевых данных для множества языков по-прежнему представляет собой значительную проблему.

В данной работе предлагается подход для построения многоязычной системы обнаружения ключевых слов на базе модели Wav2Vec 2.0, использующий принципы и механизмы трансферного обучения для адаптации предварительно обученных представлений к задаче детектирования ключевых слов. Для преодоления дефицита многоязычных обучающих данных была применена технология синтеза речи (TTS, Text-to-Speech), с помощью которой был сформирован корпус русскоязычных ключевых слов. Проведённые эксперименты подтвердили способность предложенного подхода для использования межъязыкового трансфера.

Технология распознавания ключевых слов

Развитие технологий обнаружения ключевых слов прошло эволюцию от традиционных методов сопоставления шаблонов к современным подходам, основанным на глубоких нейронных сетях. Ранние методы включали динамическое выравнивание по времени (DTW, Dynamic Time Warping) [9] и скрытые марковские модели (HMM, Hidden Markov Model) [8].

Алгоритм DTW направлен на поиск оптимального пути выравнивания между двумя временными последовательностями, минимизирующего их кумулятивное расстояние, которое рассчитывается следующим образом:

$$\mathrm{D}(i,j) = \\ = \mathrm{d}(x_i, y_j) + \min \mathrm{D}(i-1,j), \mathrm{D}(i,j-1), \mathrm{D}(i-1,j-1)$$

Где $\mathrm{d}(x_i, y_j)$ — локальная метрика расстояния между элементами x_i и y_j сравниваемых последовательностей.

HMM моделирует речевой сигнал как последовательность наблюдаемых признаков, а правдоподобие этой последовательности определяется как:

$$\mathrm{P}(O|\lambda) = \sum_{Q} P(O|Q,\lambda) \cdot P(Q|\lambda)$$

Где O — последовательность наблюдений, Q — последовательность состояний, а λ — параметр модели.

С развитием методов глубокого обучения сверточные нейронные сети (CNN) [12] и рекуррентные нейронные сети (RNN) [2] получили широкое распространение в задачах обнаружения ключевых слов. Благодаря механизму локального рецептивного поля, CNN эффективно извлекают локальные спектрально-временные признаки из речевого сигнала, что способствует повышению точности детектирования.

$$H_t = \sigma\left(\sum_{i=0}^{k-1} W_i \cdot X_{t+i} + b\right)$$

Где H_t представляет собой карту признаков, сгенерированную на временном шаге t; σ — нелинейная функция активации; W_i — весовой параметр ядра свертки в позиции i; X_{t+i} представляет собой сегмент входного речевого сигнала, начинающийся с позиции t; k — размер ядра свертки, определяющий дальность рецептивного поля; b — это изучаемый термин предвзятости.

Самообучающееся обучение представлений речи

Серия моделей Wav2Vec [3, 10] реализует самообучающееся извлечение представлений речи на основе контрастивного предиктивного кодирования. Основной целью обучения Wav2Vec 2.0 является максимизация различия между истинным контекстным представлением и отрицательными примерами.

$$\mathfrak{L} = -\log \frac{\exp\left(sim(c_t, q_t) / k\right)}{\sum_{\tilde{q} \sim Q_t} \exp\left(sim(c_t, \tilde{q}) / k\right)}$$

Где c_t представляет собой вектор контекстного представления для временного шага t, сгенерированный кодером Transformer, q_t — соответствующее правильное квантованное речевое представление, $\mathrm{sim}(c_t, q_t)$ вычисляет косинусное подобие между этими двумя векторами. Q_t содержит один положительный пример и несколько отрицательных примеров, которые обычно выбираются из других временных шагов в той же последовательности или из других примеров в пакете, параметр k контролирует сложность контрастивного обучения.

Благодаря предварительному обучению на больших объемах неразмеченных речевых данных с использованием задачи прогнозирования маскированных фрагментов, модель Wav2Vec 2.0 приобрела обширные акустические и лингвистические представления. Последующие работы — HuBERT [7] и WavLM [5] — дополнительно усовершенствовали подход к самообучающейся предварительной инициализации речевых моделей.

Предлагаемый подход

Предлагаемая в данной работе подход для построения системы идентификации ключевых слов включает следующие основные модули:

1. Модуль предварительной обработки данных — осуществляет загрузку аудиофайлов, повторную выборку и базовую предварительную обработку сигналов.
2. Модуль извлечения признаков — использует Wav2Vec 2.0 в качестве извлекателя акустических признаков с богатым предварительно обученным представлением.
3. Модуль кодирования — трансформер-кодировщик, заимствованный из архитектуры Wav2Vec 2.0, обеспечивает получение контекстно-зависимых представлений речи.
4. Модуль классификации — многослойный персептрон (MLP), обученный для определения наличия ключевых слов на основе выходов кодировщика.

Для входного аудиосигнала $x \in R^T$, модель может быть формально описана следующим образом:

$$\hat{y} = f_{\text{cls}}\left(f_{\text{encode}}\left(f_{\text{feature}}\left(x\right)\right)\right)$$

где f_{feature} — модуль извлечения признаков (Wav2Vec 2.0 feature extractor), f_{encode} — трансформер-кодировщик (Wav2Vec 2.0 encoder), f_{cls} — классификатор (многослойный персептрон), $\hat{y}$ — предсказанный результат (вероятности или метки ключевых слов).

С целью повышения точности распознавания и общей устойчивости модели в данной работе реализован ряд методов улучшения входных аудиоданных:

1. Извлечение по громкости — определяется область максимальной энергии в аудиосигнале с помощью скользящего окна, после чего извлекается сегмент, содержащий наиболее выраженную речевую информацию.
2. Случайное смещение во времени — применяется небольшое временное смещение аудиосигнала, повышающее устойчивость модели к вариативности временного выравнивания.
3. Добавление фонового шума — осуществляется случайный выбор шумового образца из предопределённого набора и наложение его на исходный аудиосигнал, что имитирует условия реальной акустической среды.
4. Случайная маскировка фрагментов — произвольная блокировка (маскирование) части аудиосигнала используется для повышения способности модели справляться с помехами и отсутствующими данными.
5. Изменение скорости воспроизведения — регулируется скорость речи посредством временного растяжения или сжатия, что позволяет улучшить адаптацию модели к различным темпам произношения.

В предлагаемом подходе используется предварительно обученная модель Wav2Vec 2.0, которая одновременно выполняет функции экстрактора признаков и кодировщика. Поверх неё добавлен классификатор, обучаемый для задачи идентификации ключевых слов. Общая архитектура модели представлена на рисунке 1.

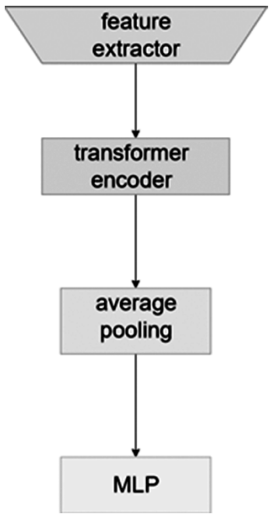


Рис. 1. Общая архитектура системы

1. Экстрактор признаков (Feature extractor)

Преобразует входной аудиосигнал x в последовательность скрытых векторных представлений z

$$z = f_{\text{feature}}\left(x\right) = \mathcal{F}\left(x;\theta_{\text{feature}}\right)$$

Где $\mathcal{F}$ — сверточная нейросетевая структура (feature encoder), а $\theta_{feature}$ — её параметры.

2. Трансформер-кодировщик. (Transformer-Encoder)

Обеспечивает контекстуальное кодирование последовательности признаков z, извлечённых на предыдущем этапе:

$$h = f_{\text{encode}}\left(z\right) = \text{Transformer}\left(z;\theta_{\text{encode}}\right)$$

где θ_{encode} — обучаемые параметры трансформера.

Основу трансформер-кодировщика составляет механизм многоголового самовнимания (multi-head self-attention), вычисляемый по следующей формуле:

$$\text{Attention}\left(Q,K,V\right) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V$$

где Q, K, V — соответственно запросы (query), ключи (key) и значения (value), получаемые линейными проекциями входных признаков; d_k — размерность вектора ключей.

3. Усреднённое объединение (Average Pooling)

Для преобразования последовательностей переменной длины $h = \left\{h_1, h_2, \ldots, h_T\right\}$ в векторы фиксированной

размерности применяется операция усреднения по временной оси:

$$\bar{h} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} h_t$$

где T — длина временной последовательности, $h_t \in R^d$ — скрытое представление на шаге t, а $\bar{h} \in R^d$ — результирующий вектор фиксированной длины.

4. Классификатор (MLP— Multilayered perceptron)

Для предсказания вероятностного распределения по классам используется трёхслойная полносвязная нейросеть. Входом служит агрегированный вектор признаков, $\bar{h}$ полученный на предыдущем этапе. Итоговое предсказание $p(y \mid x)$ вычисляется следующим образом:

$$p(y|x) =$$
$$= \text{softmax}\Big(W_3 \cdot \text{GELU}\Big(W_2 \cdot \text{GELU}\Big(W_1 \cdot \bar{h} + b_1\Big) + b_2\Big) + b_3\Big)$$

где $W_i \in R^{d_i \times d_{i-1}}$ и $b_i \in R^{d_i}$ — веса и смещения i-го слоя; GELU — сглаженная активационная функция (Gaussian Error Linear Unit), применяемая поэлементно.

В процессе обучения модели использовался подход с переносом обучения. Для этого параметры экстрактора признаков предварительно обученной модели Wav2Vec 2.0 оставались неизменными, а обучение проводилось только для трансформер-кодировщика и классификатора. Такой подход позволял значительно сократить время обучения и повысить устойчивость модели к переобучению на ограниченных обучающих выборках.

В качестве метода оптимизации параметров нейросети был выбран алгоритм AdamW, сочетающий эффективность стохастического градиентного спуска с регуляризацией весов. Для динамического управления скоростью обучения применялся планировщик на основе косинусного затухания, обеспечивающий плавное уменьшение значения learning rate от максимального к минимальному в течение всего процесса обучения. Это способствовало более стабильной сходимости и предотвращению резких изменений в параметрах модели на поздних этапах обучения.

В качестве функции потерь использовалась категориальная кросс-энтропия, которая является стандартным выбором для задач многоклассовой классификации. Она позволяет эффективно соотносить предсказанные моделью вероятности принадлежности объектов к тем или иным классам с истинными метками и корректировать параметры сети таким образом, чтобы минимизировать среднее расхождение между предсказанными и фактическими значениями.

Эксперименты

В экспериментальном исследовании использовался набор данных Google Speech Commands [11], содержащий 35 категорий голосовых команд. Датасет был разделён на обучающую, валидационную и тестовую выборки. Частота дискретизации аудиозаписей составляла 16 кГц.

Для проверки способности модели к адаптации в многоязычной среде был сформирован русскоязычный набор данных ключевых слов. В основу легли аудиозаписи русских эквивалентов команд из англоязычного корпуса, сгенерированные с помощью сервиса Google Text-to-Speech (gTTS). Процесс подготовки данных включал следующие этапы.

На первом этапе для каждого русского командного слова с использованием API gTTS были синтезированы аудиофайлы. Далее с целью увеличения разнообразия данных применялась техника аугментации — для каждого слова генерировались варианты с различной скоростью речи и высотой тона. После этого полученный корпус был разделён на обучающую, валидационную и тестовую выборки в пропорциях, аналогичных оригинальному англоязычному датасету.

Итоговый русскоязычный набор данных включает около 10 000 аудиозаписей, охватывающих 30 категорий команд, при этом частота дискретизации осталась прежней — 16 кГц.

В ходе обучения модели использовались следующие параметры. Размер батча составлял 32, обучение проводилось на протяжении 20 эпох. Начальное значение скорости обучения было установлено равным 3×10^{-5}. Максимальная длина входного аудиосигнала ограничивалась одной секундой, что при частоте дискретизации 16 кГц соответствует 16 000 отсчётам. В качестве предварительно обученной модели использовалась архитектура Wav2Vec2-Base, продемонстрировавшая высокую эффективность в задачах распознавания речи.

В качестве основного показателя качества модели использовалась точность классификации (accuracy), отражающая долю корректно классифицированных примеров в тестовой выборке. Метрика определяется по следующей формуле:

$$Accuracy = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} 1\left(\widehat{y_i} = y_i\right)$$

Где N — общее количество тестовых образцов, $\widehat{y_i}$ — предсказанный моделью класс для i-го примера, y_i — его истинная метка, а $1(\cdot)$ — индикаторная функция, принимающая значение 1, если условие внутри неё выполняется, и 0 в противном случае.

Таблица 1 демонстрирует сравнительный анализ эффективности предложенного подхода и базовых методов на англоязычном наборе данных.

Таблица 1.

Сравнительный анализ производительности на наборе данных Google Speech Commands

Метод	Accuracy	Количество параметров
CNN-RNN [2]	92.3 %	2.5M
TC-ResNet [6]	96.6 %	1.4M
KWT [4]	97.7 %	5.4M
Предлагаемый подход	98.0 %	95M

Экспериментальные результаты демонстрируют, что предлагаемый подход превосходит существующие подходы по точности распознавания английских ключевых слов, однако это достигается ценой увеличенного числа параметров модели.

Таблица 2.

Результаты работы модели на русскоязычном наборе данных

Способы обучения	Accuracy
Предлагаемый подход (предобучение на английских данных + дообучение на русскоязычных)	97.1 %

Результаты показывают, что использование предварительно обученной модели Wav2Vec2.0 с последующей тонкой настройкой на русскоязычном наборе данных позволяет достичь высокой точности. Это подтверждает эффективную способность предварительно обученных акустических моделей к межъязыковому переносу.

Заключение

В настоящей работе был предложен многоязычный подход к распознаванию ключевых слов на основе модели Wav2Vec2.0. Используя трансферное обучение и методы увеличения данных, система достигла высокой точности — 98,2 % на англоязычном наборе данных Google Speech Commands. Кроме того, был собран русскоязычный датасет с использованием gTTS, на котором модель успешно продемонстрировала способность к межъязыковому переносу, обеспечив точность 97,1 % в задаче распознавания русских ключевых слов. Полученные экспериментальные результаты подтверждают эффективность предварительно обученных акустических моделей в задачах распознавания ключевых слов, а также их высокую универсальность в многоязычной среде.

В будущем планируется сосредоточить усилия на снижении сложности модели, в частности с позиций идеи метаграфового подхода [1], оптимизации её для работы в реальном времени и расширении поддержки дополнительных языков, что позволит повысить практическую применимость разработанной системы в реальных сценариях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белянова М.А., Ревунков Г.И., Афанасьев Г.И., Гапанюк Ю.Е. Автоматическая генерация вопросов на основе текстов и графов знаний // Динамика сложных систем — XXI век. 2020. Т. 14. № 4. С. 55–64.
2. Arik S.O., Kliegl M., Child R., Hestness J., Gibiansky A., Fougner C., Prenger R., Coates A. Convolutional recurrent neural networks for small-footprint keyword spotting [Electronic resource] // arXiv preprint. arXiv:1703.05390. 2017. URL: https://arxiv.org/abs/1703.05390 (date of access 24.04.2025).
3. Baevski A., Zhou Y., Mohamed A., Auli M. Wav2Vec 2.0: A framework for self-supervised learning of speech representations // Advances in Neural Information Processing Systems. 2020. T. 33. C. 12449–12460.
4. Berg A., O'Connor M., Cruz M.T. Keyword Transformer: A Self-Attention Model for Keyword Spotting // Interspeech 2021. 2021. C. 4249–4253.
5. Chen S., Wang C., Chen Z., Wu Y., Liu S., Chen Z., Li J., Kanda N., Yoshioka T., Xiao X. et al. WavLM: Large-scale self-supervised pre-training for full stack speech processing // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing. 2022. T. 16. № 6. C. 1505–1518.
6. Choi S., Seo S., Shin B., Byun H., Kersner M., Kim B., Kim D., Ha S. Temporal Convolution for Real-Time Keyword Spotting on Mobile Devices // Proc. Interspeech 2019. 2019. C. 3372–3376.
7. Hsu W-N., Bolte B., Tsai Y-H.H., Lakhotia K., Salakhutdinov R., Mohamed A. Hubert: Self-supervised speech representation learning by masked prediction of hidden units // IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. 2021. T. 29. C. 3451–3460.
8. Rabiner L.R. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition // Proceedings of the IEEE. 1989. T. 77. № 2. C. 257–286.
9. Sakoe H., Chiba S. Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 2003. T. 26. № 1. C. 43–49.
10. Schneider S., Baevski A., Collobert R., Auli M. Wav2Vec: Unsupervised Pre-Training for Speech Recognition // Proc. Interspeech 2019. 2019. C. 3465–3469.
11. Warden P. Speech commands: A dataset for limited-vocabulary speech recognition [Electronic resource] // arXiv preprint. arXiv:1804.03209. 2018. URL: https://arxiv.org/abs/1804.03209 (date of access 24.04.2025).
12. Zhang Y., Suda N., Lai L., Chandra V. Hello edge: Keyword spotting on microcontrollers [Electronic resource] // arXiv preprint. arXiv:1711.07128. 2017. URL: https://arxiv.org/abs/1711.07128 (date of access 24.04.2025).

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.22

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ РОЛЬ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В ОРГАНИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНОГО МОНИТОРИНГА ОБШИРНЫХ ПРОСТРАНСТВ

THE IMPORTANCE OF THE CLUSTERING METHOD IN MONITORING LARGE AREAS

T. Matkurbanov

Summary. This paper discusses clustering methods as an important tool for optimizing large-area monitoring using wireless sensor networks (WSNs) and unmanned aerial vehicles (UAVs). Particular attention is paid to the K-means and hierarchical clustering algorithms, which allow for efficient data structuring, reduced network energy consumption, and shorter route lengths when collecting information. A detailed mathematical description of all major clustering methods is provided: K-means, DBSCAN, Mean Shift, Spectral Clustering, and Hierarchical Clustering, including formulas, distance types, and clustering quality criteria. A comparative experiment was conducted using Python programs implementing two methods: K-means and agglomerative hierarchical clustering. The work is supported by illustrations of algorithm flowcharts and visualization of the experimental results. The study confirms that the use of clustering in monitoring systems not only simplifies organization and routing, but also significantly improves the efficiency and reliability of the system as a whole.

Keywords: unmanned aerial vehicle, monitoring, hierarchical clustering, K-means, DBSCAN, inertia, distances, density.

Маткурбанов Тулкин Алимбоевич
Аспирант,
Новосибирский государственный университет, Россия
t.matkurbanov@g.nsu.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются методы кластеризации как важный инструмент оптимизации мониторинга больших территорий с применением беспроводных сенсорных сетей (WSN) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Особое внимание уделено алгоритмам K-средних и иерархической кластеризации, которые позволяют эффективно структурировать данные, уменьшать энергопотребление сети и сокращать длину маршрута при сборе информации. Приведено подробное математическое описание всех основных методов кластеризации: K-means, DBSCAN, Mean Shift, Spectral Clustering и Hierarchical Clustering, включая формулы, типы расстояний и критерии качества кластеризации. Проведён сравнительный эксперимент с использованием Python-программ, реализующих два метода: K-средних и агломеративную иерархическую кластеризацию. Работа подкреплена иллюстрациями блок-схем алгоритмов и визуализацией результатов эксперимента. Исследование подтверждает, что применение кластеризации в системах мониторинга не только упрощает организацию и маршрутизацию, но и существенно повышает эффективность и надёжность системы в целом.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, мониторинг, иерархическая кластеризация, K-средних, DBSCAN, инерция, расстояния, плотность.

Введение

Мониторинг обширных территорий является важной задачей в различных отраслях — от сельского хозяйства и охраны окружающей среды до военного назначения и управления инфраструктурой. Для решения этой задачи всё чаще применяются беспроводные сенсорные сети (WSN) и БПЛА. В условиях высокой плотности точек сбора данных и ограниченных ресурсов критически важно обеспечить эффективную организацию сети и маршрутизацию. В этом контексте метод кластеризации играет ключевую роль [1–2].

Однако с увеличением размера сети и количества узлов возрастает нагрузка на энергоресурсы, ухудшается эффективность маршрутизации и усложняется управление сетью. В этой связи особое значение приобретает процесс кластеризации — логической группировки сенсорных узлов в кластеры для упрощения топологии, оптимизации потребления энергии и улучшения маршрутизации. Кластеризация способствует построению иерархической архитектуры сети, где каждый кластер имеет свой управляющий узел — главу кластера (cluster head), выполняющего функции координации и агрегирования данных от подчинённых узлов [3].

Одним из ключевых преимуществ кластеризации является значительное повышение энергоэффективности сети. Сенсорные узлы, передающие данные только до ближайшего главы кластера, расходуют меньше энергии по сравнению с передачей информации напрямую до базовой станции. Кроме того, за счёт агрегации данных на уровне глав кластеров снижается общий объём передаваемой информации, что также способствует продлению срока службы всей системы.

Кластеризация также упрощает процессы анализа и мониторинга данных на больших территориях. Она позволяет структурировать входящие потоки информации, выделять регионы, где наблюдаются отклонения от нормы, и оперативно реагировать на возникновение аномалий. Такая структура является особенно ценной при

реализации задач, связанных с природным мониторингом, контролем сельскохозяйственных угодий, охраной окружающей среды и управлением инфраструктурой.

Не менее важным является применение кластеризации в системах беспилотного воздушного мониторинга. БПЛА, оснащённые разнообразными сенсорами, перемещаются над заданной территорией, собирая данные, такие как изображения, видео, температурные и атмосферные параметры. Организация маршрута БПЛА с учётом заранее определённых кластеров позволяет существенно повысить эффективность облёта: БПЛА не посещает каждый сенсорный узел, а лишь главные точки кластеров, где сосредоточена агрегированная информация. Это существенно снижает затраты энергии и времени, а также повышает точность выполнения заданий [4].

Кроме того, кластеризация позволяет оптимизировать маршруты движения БПЛА. При этом точки маршрута формируются на основе выбранных глав кластеров, а не отдельных датчиков, что позволяет существенно сократить длину траектории. Такой подход особенно эффективен в сочетании с алгоритмами маршрутизации, например, алгоритмом коммивояжёра (TSP) и его вариациями, применяемыми для построения кратчайшего пути между точками с учётом различных ограничений.

Концепция кластерной организации сети предполагает разделение всех сенсорных узлов на компактные группы — кластеры, внутри которых осуществляется локальный обмен данными. В каждом таком кластере выделяется главный (центральный) узел, выполняющий функции координатора: он собирает информацию от остальных участников группы, устраняет повторяющиеся данные и передаёт агрегированные сведения на приёмный узел (базовую станцию), либо напрямую, либо через несколько промежуточных узлов. Подобная архитектура существенно упрощает маршрутизацию и снижает затраты энергии: данные передаются на короткие расстояния внутри кластера, а не от каждого сенсора напрямую к приёмнику. Однако при многопереходной передаче возникает нагрузка на промежуточные узлы, особенно те, что находятся ближе к приёмной точке. Эти узлы подвергаются повышенному энергетическому износу и риску более раннего выхода из строя. Такое явление известно как «перегрузка в точке сосредоточения» или «горячая точка». Появление «горячих точек» может вызвать сбои в передаче данных и снизить общую устойчивость и пропускную способность всей сети. Методы кластеризации позволяют частично решить эту проблему, равномерно распределяя нагрузку, уменьшая количество лишних передач, снижая помехи и, как следствие, продлевая срок службы сенсорной системы [5].

Кроме того, динамическая природа беспроводных сенсорных сетей и влияние внешней среды напрямую отражаются на таких ключевых аспектах, как выбор головного узла кластера, организация маршрутов передачи данных, временные задержки, точность позиционирования узлов, уровень качества предоставляемых услуг (QoS), своевременное обнаружение неисправностей, плотность охвата зоны мониторинга, надежность обмена данными и безопасность сети в целом.

Метод кластеризации помогает упорядочить анализ полученных данных, структурируя их по взаимосвязанным группам. Это особенно важно при обработке больших объёмов информации — кластеризация способствует выявлению связей между точками, что существенно упрощает аналитические процессы и ускоряет принятие решений.

В задачах мониторинга с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) кластеризация позволяет рационально распределять ресурсы: внимание фокусируется на наиболее приоритетных участках, сгруппированных в кластеры, а маршруты облёта строятся по центрам этих кластеров, что повышает точность и снижает затраты.

Кроме того, кластерный подход даёт возможность отличать нормальные участки наблюдения от аномальных, помогая идентифицировать шум в данных, ошибки сенсоров и нестандартные явления. Это критически важно для своевременного реагирования на отклонения и повышения надёжности всей мониторинговой системы [6].

Учитывая вышеизложенные соображения, изучение методов кластеризации остается основным вопросом мониторинга аграрных и сельских территорий. Изучив несколько методов кластеризации, сформируем следующую таблицу 1 [7].

В этой таблице сравниваются шесть алгоритмов кластеризации по нескольким параметрам.

Постановка задачи

Выбор конкретного метода кластеризации при решении задач мониторинга зависит от множества факторов: плотности размещения сенсоров, динамики среды, требований к точности, объёма и частоты передаваемых данных. Среди наиболее применяемых методов можно выделить:

- K-средних (K-means) — хорошо подходит для равномерно распределённых данных;
- Иерархическую кластеризацию (Hierarchical Clustering) — удобна при наличии многоуровневой структуры;
- Методы на основе плотности (DBSCAN, OPTICS) — эффективны в условиях шума и неплотной структуры точек;

Таблица1.

Сравнение пяти алгоритмов кластеризации по нескольким параметрам

Метод	Описание	Применение	Сложность	Работа с высокоразмерными данными	Работа с шумными данными	Последовательность результатов	Понятность результатов
K-means Кластеризация	Простой и быстрый метод кластеризации, создающий к кластерам	Оптимизация маршрутов доставки и расчет кратчайшего пути	Быстрый, но зависит от начальных центров	Обычно не подходит	Чувствителен к шуму, результаты могут быть неверными	Неизменяемый, зависит от начальных центров	Легко воспринимаемые результаты
DBSCAN	Определяет кластеры на основе плотности и исключает шумные точки	Анализ плотности движения на транспортных путях	Средняя сложность	Независим от размерности	Хорошо работает с шумом	Последовательные результаты	Понятные кластеры, но трудно определить шумные точки
Иерархическая кластеризация	Группирует данные по иерархической структуре	Организация транспортных сетей и планирование маршрутов	Высокая сложность	Могут возникать проблемы	Возможны проблемы с шумными точками	Последовательные, но зависят от иерархии	Легко воспринимаемые результаты
Средний сдвиг	Определяет кластеры, перемещая точки к центрам плотности	Оптимизация движения и определение местоположения транспортных средств	Средняя сложность	Хорошо работает	Продолжает работать, несмотря на шум	Последовательные, но могут изменяться в зависимости от параметров	Понятные, но могут быть сложными
Спектральная кластеризация	Основана на теории графов	Решение сложных задач маршрутизации	Сложная, высокие вычислительные затраты	Эффективна, но с высокими затратами	Обычно хорошо работает с шумом	Обычно дает последовательные результаты	Понятные, но в сложных структурах

— Методы на основе графов и расстояний — используются при кластеризации узлов с учётом связности или расстояния между ними.

Таким образом, кластеризация представляет собой мощный инструмент для повышения эффективности мониторинга и маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях и при использовании БПЛА. Она способствует улучшению управляемости, снижению энергопотребления, оптимизации логистики и обеспечивает надёжную работу систем в реальном времени.

1. DBSCAN (Пространственная кластеризация приложений с шумом на основе плотности)

Использование метода DBSCAN полезно, если поле содержит зашумленные данные и между кластерами существуют различия в плотности. Этот метод обладает способностью обнаруживать зашумленные точки и эффективно идентифицировать кластеры неопределенной формы. В результате плотно расположенные объекты или растения в зонах наблюдения БПЛА разбиваются на кластеры, что позволяет оптимизировать маршруты [8].

2. Метод К-средних

Метод кластеризации К-средних лучше всего использовать для относительно простых и хорошо распределенных наборов данных. Этот метод работает очень быстро и эффективно, а также позволяет добиться хороших результатов на больших наборах данных. В результате БПЛА перемещаются по каждому кластерному центру, что ускоряет процесс мониторинга и помогает эффективно распределять ресурсы [9].

3. Иерархическая кластеризация

Использование метода иерархической кластеризации важно в ситуациях, когда требуется иерархическая структура, например, для мониторинга на разных уровнях. Этот метод предлагает преимущества в легком понимании результатов и отображении иерархической структуры. В результате создается иерархия, содержащая каждый кластер, что упрощает анализ данных [10].

4. Средний сдвиг

Метод среднего сдвига рекомендуется использовать при наличии кластеров различной формы и высокой

плотности данных. Этот метод эффективен при выявлении переменных кластерных структур и помогает БПЛА определять оптимальные направления на основе местоположения объектов или растительности [11].

5. Спектральная кластеризация

Спектральная кластеризация — это один из эффективных методов кластерного анализа, особенно хорошо работающий при сложной форме кластеров и в случаях, когда традиционные методы, такие как K-средние, дают неудовлетворительные результаты. Этот подход основан на представлении данных в виде графа, где узлы — это объекты (точки), а рёбра отражают степень схожести между ними [12].

Для мониторинга больших территорий необходимо будет выбрать соответствующий метод кластеризации и провести эксперименты с использованием этого метода.

Чем больше мы применяем этот метод при организации системы мониторинга, тем более общей она становится.

Системные модели

DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)

DBSCAN — это неиерархический алгоритм кластеризации, который группирует точки, находящиеся близко друг к другу (с высокой плотностью), и выделяет выбросы (шум) как точки, которые не принадлежат ни одному кластеру. В отличие от K-средних, не требует заранее задавать число кластеров.

Основные параметры:
- ε (эпсилон) — радиус окрестности, в пределах которого ищутся соседи точки.
- MinPts — минимальное число точек в ε-окрестности, чтобы считать точку основной (core point).

Типы точек в DBSCAN:
- Core point (основная точка): имеет как минимум MinPts соседей в радиусе ε.
- Border point (граничная точка): сама имеет менее MinPts соседей, но находится в ε-окрестности основной точки.
- Noise point (шум): не является ни основной, ни граничной точкой.

Шаги алгоритма DBSCAN:
- Для каждой точки определяются все точки в ее ε-окрестности.
- Если у точки в ε-окрестности не менее MinPts, она становится основной точкой и образует новый кластер.
- Все точки в ее ε-окрестности добавляются к этому кластеру. Если среди них находятся другие основные точки, их ε-окрестности также присоединяются.
- Процесс повторяется до тех пор, пока не будут исследованы все точки.
- Точки, не отнесенные ни к одному кластеру, помечаются как шум.

ε-окрестность точки:

Для заданной точки $x_i \in R^n$, ε-окрестность определяется как множество всех точек, находящихся от неё на расстоянии не больше ε:

$$N_i\left(x_i\right) = \{x_i \in X \mid dis\left(x_i x_j\right) \leq \varepsilon\}$$

Где $dis\left(x_i x_j\right)$ — метрика расстояния (например, евклидово):

$$dis\left(x_i x_j\right) = \sqrt{\sum_{k-1}^{n}\left(x_i^{(k)} - x_j^{(k)}\right)^2}$$

Основная (Core) точка:

Точка x_i называется основной, если мощность её ε-окрестности больше либо равна минимальному порогу MinPts:

$$N_i\left(x_i\right) \geq \text{MinPts}$$

Прямо достижимость (Directly Density-Reachable)

Точка x_j прямо достижима из x_i, если: $x_i \in N_i\left(x_i\right)$, x_i — основная точка.

$$x_i \in N_i\left(x_i\right) \wedge N_i\left(x_i\right) \geq \text{MinPts}$$

Достижимость по плотности (Density-Reachable)

Точка x_i достижима по плотности из x_i, если существует цепочка точек:

$$x_i = x_{i_0}, x_{i_1}, \ldots, x_{i_n} = x_k,$$

такая, что каждая следующая точка прямо достижима из предыдущей: $x_{i_{i+1}} \in N_\mu\left(x_{i_i}\right)$ и x_{i_i} является основной точкой

Связность по плотности (Density-Connected)

Две точки x_i и x_j связаны по плотности, если существует такая точка x_k, что обе точки достижимы по плотности из x_k:

$$x_i \text{ и } x_k \text{density-connected} \Leftrightarrow \exists x_k : x_i \overset{density}{\rightarrow} x_k \wedge x_j \overset{density}{\rightarrow} x_k$$

Выброс (шум)

Точка x_i является шумовой, если она не достижима по плотности ни из одной основной точки:

$$x_i \text{ is noise} \Leftrightarrow \nexists x_j \ : \ x_j \text{is core and } x_i \overset{density}{\rightarrow} x_j$$

Средний сдвиг

Алгоритм Mean Shift (Средний сдвиг) — это метод кластеризации и поиска мод плотности без предварительного задания числа кластеров. Он основывается на идее «двигать» точки данных к областям с наибольшей плотностью. Алгоритм определяет моду (локальный максимум) плотности выборки с помощью итеративного сдвига каждого центра к среднему положению точек в его окрестности.

Ядровая функция плотности (Kernel Density Estimation, KDE)

Плотность точек в окрестности центра $x_i \in R^n$ оценивается с помощью ядровой функции (например, гауссовской):

$$f(x) = \frac{1}{nh^d}\sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

x_i — точка из данных, h — ширина окна (радиус ядра), d — размерность пространства, $K(\bullet)$ — ядровая функция (например, гауссовская):

$$K(u) = exp\left(-1\frac{1}{2}\|u\|^2\right)$$

Смещение (mean shift vector)

Итеративный вектор смещения вычисляется как среднее значение точек в окрестности радиуса h:

$$m(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)}{\sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)} - x$$

Обновлённое положение центра: $x_i = x + m(x)$, Этот процесс повторяется до сходимости $\|m(x)\| < \varepsilon$

Конвергенция:

Алгоритм останавливается, когда вектор сдвига становится очень малым:

$$\|x_{new} - x\| < \delta$$

Шаги алгоритма Mean Shift:

- Выбрать начальные центры (часто просто все точки).
- Для каждого центра:
- Найти все точки в окрестности радиуса h.
- Вычислить вектор смещения.
- Переместить центр в новое положение.
- Повторять до сходимости.
- Объединить центры, сошедшиеся в одну точку, в один кластер.

Спектральная кластеризация

Спектральная кластеризация — это метод кластеризации, который основан на теории графов и собственных значениях (спектре) матрицы смежности или лапласиана графа. В отличие от классических методов (например, K-средних), спектральная кластеризация может эффективно находить нелинейные границы между кластерами и работать с кластерной структурой произвольной формы.

Основные этапы спектральной кластеризации:

Построение матрицы смежности (W):

Пусть $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\} \subset R^n$— входные данные (точки).

Создаём взвешенный граф, где каждая вершина — это точка, а вес ребра между x_i и x_j задаётся функцией близости, например:

$$\omega_{ij} = exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right) \text{если } x_j \in N(x_i)$$

Где: $N(x_i)$ — окрестность точки x_i, σ — параметр ядра.

Построение матрицы Лапласиана:

Варианты Лапласиана:

Нормализованный симметрический Лапласиан:

$$L_{sym} = I - D^{-1/2}WD^{-1/2}$$

Нормализованный случайный Лапласиан:

$$L_{rw} = I - D^{-1}W$$

Ненормализованный Лапласиан:

$$L = D - W$$

Где: $W \in R^{nxn}$ — матрица смежности, — диагональная матрица степеней: $D_{ii} = \sum_j \omega_{ij}$ I— единичная матрица.

Вычисление собственных векторов:

Находим k собственных векторов $u_1, u_2, ..., u_n$ матрицы Лапласиана, соответствующих наименьшим собственным значениям.

Формируем новую матрицу $U \in R^{nxk}$, где каждая строка — проекция исходной точки в новом пространстве.

К-средних кластеризация

К-средних кластеризация алгоритм широко используется для группировки данных при мониторинге больших площадей. Он работает по следующему алгоритму:

1) Инициализация:

Выбор числа кластеров k: Пользователь задает количество кластеров, которые он хочет получить.

Случайная инициализация центров кластеров: выбираются k случайных точек из данных в качестве начальных центров кластеров c_k.

2) Назначение кластеров:

Для каждой точки данных x_i вычисляется расстояние до каждого из центров кластеров c_k (обычно используется евклидово расстояние):

$$d\left(x_i c_k\right) = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(x_{ij} - c_{kj}\right)^2} \quad (1)$$

Каждая точка x_i назначается кластеру с ближайшим центром:

$$C\left(i\right) = arg\min_k d\left(x_i c_k\right) \quad (2)$$

где $C\left(i\right)$ — кластер, к которому принадлежит точка x_i.

3) Обновление центров:

После того как все точки были назначены кластерам, новые центры кластеров c_k пересчитываются как средние значения точек, входящих в каждый кластер:

$$c_k = \frac{1}{\left|C_k\right|}\sum_{x_i \in C_k} x_i \quad (3)$$

где $\left|C_k\right|$— количество точек в кластере k.

4) Проверка на сходимость:

Алгоритм проверяет, изменились ли центры кластеров: если центры не изменились (или изменения минимальны), алгоритм завершает работу.

Если изменения произошли, процесс возвращается к шагу 2.

5) Итерация:

Шаги 2–4 повторяются до достижения сходимости или до достижения максимального количества итераций.

Математическая теория алгоритма К-средних включает в себя процессы сравнения данных и определения кластеров с использованием расстояний, центров и назначения точек. Эти процессы позволяют достигать эффективных и точных результатов в мониторинге больших площадей [5].

Иерархическая кластеризация

Для сравнения познакомимся с алгоритмами другого метода, название этот метод — Агломеративная кластеризация: Иерархическая кластеризация, объединяющая два ближайших кластера.

Иерархическая кластеризация — это метод группировки данных, который создает иерархическую структуру кластеров. Он начинается с того, что каждая точка данных рассматривается как отдельный кластер, и постепенно объединяет их. Вот подробное описание алгоритма:

1) Начальная установка: каждая точка данных x_i начинает как отдельный кластер:

$$C = \left\{\{x_1\},\{x_2\},\ldots,\{x_n\}\right\}$$

2) Вычисление расстояний: рассчитывается расстояние между всеми парами кластеров. Обычно используется евклидово расстояние:

$$d\left(x_i x_j\right) = \sqrt{\sum_{k=1}^{m}\left(x_{ik} - x_{jk}\right)^2}$$

Для кластеров C_a и C_b могут использоваться разные методы для оценки расстояния между ними:

Минимальное расстояние:

$$d(C_a, C_b) = \min_{x_i \in C_a,\, x_j \in C_b} d\left(x_i x_j\right)$$

Максимальное расстояние:

$$d(C_a, C_b) = \max_{x_i \in C_a,\, x_j \in C_b} d\left(x_i x_j\right)$$

Среднее расстояние:

$$d(C_a, C_b) = \frac{1}{\left|C_a\right| * \left|C_b\right|}\sum_{x_i \in C_a}\sum_{x_j \in C_b} d\left(x_i x_j\right)$$

3) Объединение кластеров: Найдите два ближайших кластера C_a и C_b с минимальным расстоянием $d(C_a, C_b)$ и объедините их:

$$C_{ab} = C_a \cup C_b$$

4) Обновление расстояний: После объединения обновите расстояния между новым кластером C_{ab} и остальными кластерами. Например, для метода средних расстояний это будет:

$$d(C_{ab}, C_c) = \frac{1}{|C_{ab}|*|C_c|} \sum_{x_i \in C_{ab}} \sum_{x_j \in C_c} d\left(x_i x_j\right)$$

5) Повторение: Процесс повторяется, пока не останется один кластер или пока не будет достигнуто желаемое количество кластеров [6,7].

Рекомендуемое оптимизированное решение

В нашем исследовании мы проведем анализ, используя два метода кластеризации. Используя приведенные выше математические выражения для этих двух методов, мы формируем алгоритмическое программное выражение этого метода. Алгоритмическая блок-схема метода К-средних представлена на рисунке 1 ниже.

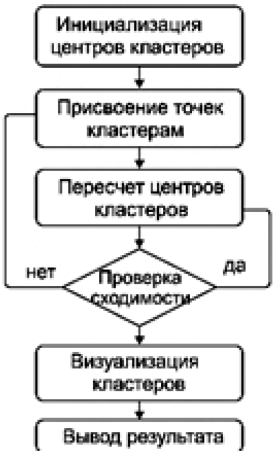


Рис. 1. Блок-схема метода К-средних

Алгоритм К-средних является одним из наиболее популярных методов кластеризации в области анализа данных и машинного обучения. Он используется для разбиения множества объектов на *K* непересекающихся кластеров на основе схожести между объектами, обычно измеряемой с помощью евклидова расстояния.

Иерархическая кластеризация строит иерархию кластеров и может быть выполнена в двух основных формах:

Агломеративная (снизу вверх) — каждый объект начинается как отдельный кластер, и пары кластеров постепенно объединяются.

Дивизивная (сверху вниз) — начинается с одного общего кластера и постепенно разделяется на подгруппы.

Алгоритм агломеративной иерархической кластеризации:

- Инициализация: каждый объект является отдельным кластером.
- Вычисление расстояний между всеми парами кластеров (например, евклидово расстояние).
- Объединение двух наиболее близких кластеров.
- Обновление матрицы расстояний с учётом нового объединённого кластера.
- Повтор шагов 2–4, пока не останется заданное количество кластеров или один общий кластер.

Алгоритмическая блок-схема метода иерархической кластеризации представлена на рисунке 2 ниже.

Рис. 2. Блок-схема метода иерархической кластеризации

Результаты

На основе алгоритмов двух методов создадим программу на языке программирования Python и протестируем эту программу на платформе Google Colob. Вводим параметры для экспериментов со структурированными программами и сравниваем методы. Результаты экспериментов программ, основанных на алгоритмах двух методов кластеризации, представлены на рис. 3.

В результате работы программы были сформированы значения К-средних Inertia: 212803,42, К-средних Silhouette Score: 0,35, Agglomerative Silhouette Score: 0,39.

Значение 212803.42 указывает на то, что в среднем расстояния между точками и их центрами относительно велики. Чем меньше это значение, тем лучше кластеризация, так как это говорит о том, что точки более компактны в пределах кластеров.

Значение 0.35 указывает на умеренное разделение между кластерами. Это не идеальный результат, но и

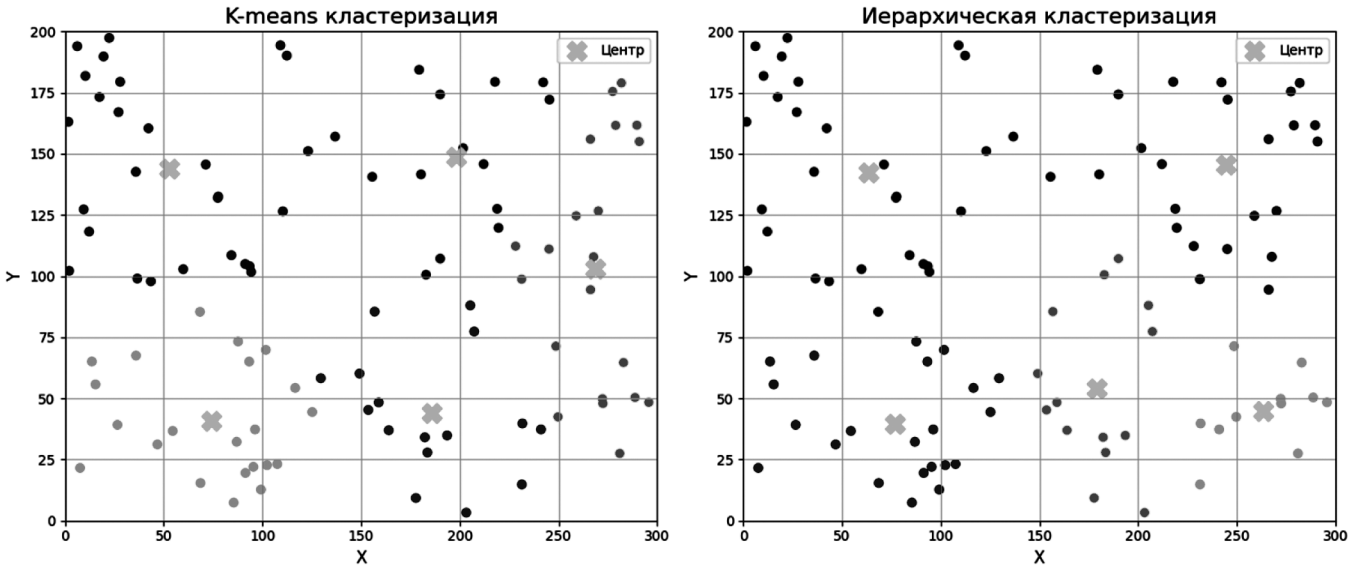


Рис. 3. Иллюстрация экспериментального результата, основанного на двух методах кластеризации для 100 случайно выбранных точек на площади 300x200

не худший. Он говорит о том, что некоторые точки могут находиться ближе к другим кластерам, чем к своему собственному.

Значение 0.39 для агломеративной кластеризации немного выше, чем у K-средних. Это говорит о том, что агломеративная кластеризация в данной задаче предоставляет немного лучшее разделение между кластерами, чем K-средних.

Иерархическая кластеризация показывает немного лучшее качество кластеризации по сравнению с K-средних, судя по значению Silhouette Score. Оба метода имеют умеренные значения Silhouette Score, что может указывать на необходимость дальнейшей настройки параметров или на то, что данные могут не быть идеально разделимыми на кластеры.

Заключение

Для мониторинга больших площадей, если данные не имеют сложной структуры и нет значительных выбросов, K-средних будет более подходящим выбором из-за своей скорости и простоты. Однако, если данные сложные и предполагаются различные формы кластеров, стоит рассмотреть Иерархическая кластеризация для получения более точных результатов. Иерархическая кластеризация — полезный метод для анализа и визуализации данных, позволяющий создавать иерархические структуры. Его применение может быть особенно эффективным в ситуациях, когда требуется понять взаимосвязи между объектами. В идеале, рекомендуется протестировать оба метода на реальных данных и сравнить результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fascista A. Toward integrated large-scale environmental monitoring using WSN/UAV/Crowdsensing: A review of applications, signal processing, and future perspectives //Sensors. — 2022. — Т. 22. — №. 5. — С. 1824.
2. Nurlan Z. et al. Wireless sensor network as a mesh: Vision and challenges // IEEE access. — 2021. — Т. 10. — С. 46–67.
3. Jubair A.M. et al. Optimization of clustering in wireless sensor networks: techniques and protocols //Applied Sciences. — 2021. — Т. 11. — №. 23. — С. 11448.
4. Li X., Xing L. Use of unmanned aerial vehicles for livestock monitoring based on streaming K-means clustering // Ifac-Papersonline. — 2019. — Т. 52. — №. 30. — С. 324–329.
5. Liu L. et al. Кластеризация сенсорных сетей с использованием метода оптимизации роя хаотических частиц на основе многофакторного конфликта. — 2021.
6. Савельев М. Исследование и перспективы обучения моделей искусственного интеллекта и машинного обучения на больших данных: кластеризация и ее роль в эффективной обработке информации. — 2024.
7. Kuivanen K.S. et al. A comparison of statistical and participatory clustering of smallholder farming systems — A case study in Northern Ghana //Journal of rural studies. — 2016. — Т. 45. — С. 184–198.
8. Deng D. DBSCAN clustering algorithm based on density //2020 7th international forum on electrical engineering and automation (IFEEA). — IEEE, 2020. — С. 949–953.
9. Sasikumar P., Khara S. K-means clustering in wireless sensor networks // 2012 Fourth international conference on computational intelligence and communication networks. — IEEE, 2012. — С. 140–144.
10. Soares J. et al. The use of hierarchical clustering for the design of optimized monitoring networks //Atmospheric Chemistry and Physics. — 2018. — Т. 18. — №. 9. — С. 6543–6566.
11. Wu K. L., Yang M. S. Mean shift-based clustering // Pattern Recognition. — 2007. — Т. 40. — №.11. — С. 3035–3052.
12. Jia H. et al. The latest research progress on spectral clustering // Neural Computing and Applications. — 2014. — Т. 24. — С. 1477–1486.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.24

МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

METHODOLOGY FOR TESTING THE SECURITY LEVEL OF SUPERCOMPUTER COMPUTING SYSTEMS

A. Molyakov

Summary. The article describes a method for testing the level of security, based on a marker scanning algorithm and the implementation of detection mechanisms KPROCESSOR-CID-table factoring with ContextHooking and PspCidHooking control, control over the display of protected memory segments, characterized by the use of a set of labels (combinations of labels are associated with signs of hidden threats and actions that meet the requirements of the selected information security policy), which allows increasing the level of security of computing resources of supercomputers and minimizing errors of the first and second class.

Keywords: protected memory segments, KPROCESSOR-CID-table factoring, marker scanning, PspCidHooking, ContextHooking.

Моляков Андрей Сергеевич
к.т.н., доцент, Российский государственный гуманитарный университет (г. Москва)
andrei_molyakov@mail.ru

Аннотация. В статье описывается методика тестирования уровня защищенности, основанная на алгоритме маркерного сканирования и реализации механизмов детектирования KPROCESSOR-CID-table-факторинга с введением контроля ContextHooking и PspCidHooking, контроля отображения защищенных сегментов памяти, отличающаяся использованием набора меток (сочетаниям меток сопоставляются признаки скрытых угроз и действия, отвечающие требованиям выбранной политики информационной безопасности), позволяющая повысить уровень защищенности вычислительных ресурсов суперкомпьютеров и минимизировать ошибки 1-го и 2-го рода.

Ключевые слова: защищенные сегменты памяти, KPROCESSOR-CID-table-факторинг, маркерное сканирование, PspCidHooking, ContextHooking.

Введение

Изучение скрытых механизмов ядра с введением контроля ContextHooking и PspCidHooking и механизмов защиты сегментов памяти при трансляции виртуальных адресов помогает глубже понять процессы взаимодействия между компонентами операционной системы, гипервизором и оборудованием.

ContextHooking и PspCidHooking позволяют перехватывать и контролировать контекст выполнения процессов и идентификаторы процессов, предоставляя детальное представление о работе ядра, а также обнаруживать и предотвращать несанкционированное вмешательство в процессы операционной системы, а защита сегментов памяти при трансляции виртуальных адресов затрудняет эксплуатацию уязвимостей, связанных, например, с переполнением буфера и другими компьютерными атаками.

1. Системно-архитектурные принципы реализации

Описание теоретических и инженерно-практических подходов KPROCESSOR-CID-table-факторинга с реализацией механизмов защиты сегментов памяти на основе технологии аппаратной виртуализации приведено в авторских статьях [1, 2], а экспериментальное исследование низкоуровневых примитивов ядра с введением контроля ContextHooking и PspCidHooking проиллюстрировано в авторских статьях [3, 4]. Применение технологии аппаратной виртуализации для KPROCESSOR-CID-table-факторинга предоставляет возможность анализировать и модифицировать структуру данных ядра в изолированной среде, что снижает риск нарушения стабильности системы в целом.

Виртуализация предоставляет инструменты для мониторинга и отладки в реальном времени. Это позволяет выявлять и устранять проблемы, которые могут возникнуть при работе с этой структурой данных. Благодаря аппаратной изоляции, даже в случае сбоя или запуска вредоносного эксплойта в виртуальной среде, основная операционная система остается защищенной.

Методика тестирования уровня защищенности предполагает вычисление результирующей свертки на основе атрибутов протекающих процессов, конфигурации среды выполнения с заданной глубиной. Она основана на следующих принципах и подходах:

1. На основе значений функции оценки безопасности состояний, аргументы которой заданы в виде конъюнкции предикатов из восьми логических переменных.
2. Отслеживать взаимодействие и контролировать доступ можно по набору характерных признаков — маркеров, представленных в виде кортежей логических переменных.
3. Ошибки 1-го и 2-го рода могут возникать на локальном i-ом уровне, но они детектируются и исправляются на уровне системной задача анализа контроля целостности поступающей информации с датчиков со всех уровней иерархии обработки запросов.
4. Обнаружение осуществляется на основе списка демаскирующих событий по значениям траекторий вычислений темпоральной логики CPL на структурах Крипке, по временным параметрам (изменение длины трассы выполнения инструкции) и значениям энергозатрат на выполнение инструкций.
5. Процедура поиска разных классов вредоносного ПО представляет собой цикл, в котором анализируются списки запросов, на основе значения функции оценки состояния Fi: если Fi = Да, процесс добавляется в список разрешенных, если Fi = Нет, формируется список запрещенных процессов [5,6].

В результате работы алгоритма создается база данных вредоносного программного обеспечения, которая периодически обновляется. В случае обнаружения подозрительных действий при проведении сканирования происходит оповещение администратора безопасности.

Мониторинг взаимодействия и контроля доступа через маркеры, представленные кортежами логических переменных, позволяет выявлять аномалии и потенциальные угрозы. Анализ комбинаций значений переменных в маркерах обеспечивает идентификацию несанкционированных действий или нарушений политик безопасности.

Локализация и коррекция ошибок 1-го и 2-го рода на каждом уровне иерархии обработки запросов важны для обеспечения целостности информации. Системная задача анализа и контроля целостности, осуществляемая на верхнем уровне, играет роль фильтра, выявляющего и устраняющего ошибки, возникшие на нижних уровнях.

Детектирование угроз на основе списка демаскирующих событий и анализа траекторий вычислений темпоральной логики CPL на структурах Крипке позволяет выявлять атаки, использующие временные характеристики системы. Изменения длины трассы выполнения инструкций могут указывать на внедрение вредоносного кода или попытки обхода механизмов защиты.

Выдаваемые запросы изначально связываются с некоторой информационной структурой, называемой тегом. При прохождении запросом уровня защиты он не выполняется, а только происходит планирование действий для него на этом уровне и фиксация информации о контексте их выполнения, производится соответствующее этому изменение тега запроса и задаются интервально-временные ограничения выполнения команд.

По мере продвижения запроса через уровни в теге накапливается информация в виде его межуровневой трассы. Работа с тегами запросов на разных уровнях защиты производится модулями гипервизора.

Гипервизор, используя накопленную в теге информацию, динамически адаптирует параметры выполнения запроса, учитывая текущую загрузку системы и приоритеты задач. Контроллеры транзакционной памяти обеспечивают атомарность операций и защиту данных от несанкционированного доступа, гарантируя целостность результатов вычислений. Внедрение таких системно-архитектурных принципов защиты особенно актуально при работе с распределенными суперкомпьютерными вычислениями, где требуется обеспечить защиту данных от внешних угроз и минимизировать риски утечки информации.

Архитектура с тегированными запросами и контролем транзакций является важным шагом в развитии надежных и безопасных суперкомпьютерных систем, способных обрабатывать критически важные данные без риска компрометации.

Совместная работа гипервизора и контроллеров транзакционной памяти позволяет создать многоуровневую систему защиты, в которой каждая подсистема дополняет и усиливает возможности другой.

Контроллеры транзакционной памяти, в свою очередь, обеспечивают атомарность операций записи и чтения, гарантируя целостность данных даже при возникновении сбоев или конфликтов доступа. Это особенно важно в суперкомпьютерах, где параллельное выполнение задач может приводить к непредсказуемым ситуациям.

Гипервизор обеспечивает базовую изоляцию процессов, а контроллеры транзакционной памяти — атомарность операций с данными. Попытки несанкционированного доступа или повреждения данных пресекаются, обеспечивая стабильную и безопасную работу системы.

2. Результаты тестирования

В результате экспериментальных исследований получены новые научные результаты, подтверждающие эф-

фективность и минимальную потерю производительности применения технологии аппаратной виртуализации в виде многоуровневой «песочницы» для перспективных суперкомпьютеров по сравнению с использованием традиционных кластеров.

При этом, несмотря на дополнительную нагрузку, связанную с виртуализацией, наблюдается незначительное снижение производительности, которое компенсируется улучшенной управляемостью и гибкостью вычислительных ресурсов. Это позволяет более эффективно распределять и оптимизировать использование аппаратного обеспечения, что особенно важно для решения сложных научных и инженерных задач.

Многоуровневая «песочница» обеспечивает более надежную защиту от сбоев и ошибок в программном обеспечении. В случае возникновения проблем в одном из виртуальных окружений, они не оказывают влияния на другие, что повышает стабильность работы суперкомпьютера в целом.

По сравнению с внедренными промышленными решениями требования к вычислительным ресурсам при реализации алгоритма маркерного сканирования в 5–6 раз меньше. Потеря производительности составляет менее 6–7 процентов.

Экспериментальные исследования показали, что не менее чем в 86 из 100 обучающих выборок ошибки 1-го и 2-го рода не превышают 0,014. При увеличении выборок и интервала наблюдения по времени наблюдается устойчивое снижение: значение ложных срабатываний стремится к нулю.

Таким образом, применение технологии аппаратной виртуализации в виде многоуровневой «песочницы» является перспективным направлением развития защищенных суперкомпьютерных систем, обеспечивающим сочетание высокой производительности, безопасности и надежности.

Заключение

В целом, полученные результаты вносят значительный научно-практический вклад в области защиты суперкомпьютерных комплексов от киберугроз и открывают новые перспективы для разработки и внедрения систем обнаружения и предотвращения вторжений. Применение аппаратной виртуализации позволяет изолировать потенциально опасный код и анализировать его поведение без риска компрометации всей системы.

Разработанная методика, основанная на алгоритме маркерного сканирования и реализации механизмов детектирования KPROCESSOR-CID-table-факторинга с введением контроля ContextHooking и PspCidHooking, контроля отображения защищенных сегментов памяти, позволяет снизить стоимость внедрения и эксплуатации систем обнаружения вторжений, сканеров безопасности для нового класса технических систем — стационарных и бортовых суперкомпьютеров.

Маркерное сканирование обеспечивает быстрое и точное обнаружение подозрительных изменений в памяти, а механизмы детектирования KPROCESSOR-CID-table-факторинга выявляют попытки манипулирования идентификаторами процессов. Контроль ContextHooking и PspCidHooking предотвращает перехват управления и манипулирование контекстами процессов, что является распространенным способом внедрения вредоносного кода.

Контроль отображения защищенных сегментов памяти препятствует несанкционированному доступу к критически важным данным и коду операционной системы.

Снижение требований к вычислительным ресурсам при реализации алгоритма маркерного сканирования позволяет существенно сократить стоимость внедрения и эксплуатации таких систем. Устойчивое снижение количества ложных срабатываний при увеличении обучающих выборок и интервала наблюдения свидетельствует о высокой надежности разработанного алгоритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моляков, А.С. Новый метод систематического поиска недекларированных возможностей ядра Windows NT 5.1 с введением контроля ContextHooking и PspCidHooking / А.С. Моляков // Вопросы защиты информации. — 2008. — № 1(80). — С. 49–56.
2. Моляков, А..С. Метод контроля отображения защищенных сегментов памяти при трансляции виртуальных адресов процессов ОС Windows / А.С. Моляков // Вопросы защиты информации. — 2008. — № 2(81). — С. 32–35.
3. Моляков, А.С. KPROCESSOR_CID_TABLE — факторинг — новое направление в теории компьютерного анализа вирусного кода и программных закладок / А.С. Моляков // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — 2009. — № 1. — С. 7–18.
4. Моляков, А.С. KPROCESSOR-CID-table-факторинг в области создания защищенных ОС нового поколения / А.С. Моляков // Безопасность информационных технологий. — 2009. — Т. 16, № 4. — С. 125–129.
5. Моляков, А.С. Маркерное сканирование как новый научный подход в области создания защищенных информационных систем на примере ОС нового поколения Microtek / А.С. Моляков // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — 2016. — № 1. — С. 29–36.
6. Molyakov, A.S. Based on reconfiguring the supercomputers runtime environment new security methods / A. Molyakov // Advances in Science, Technology and Engineering Systems. — 2020. — Vol. 5, №3. — P. 291–298. — DOI 10.25046/aj050338.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.25

О ГЛОБАЛЬНОЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ЛОРЕНЦА

ON THE GLOBAL ASYMPTOTIC STABILITY OF THE SYSTEM OF LORENTZ EQUATIONS

A. Morozov
E. Yershova

Summary. The article considers a system of E. Lorentz differential equations with parameters σ>0,b∈(0.2), r>0. The conditions of global asymptotic stability are obtained within the framework of the second Lyapunov method. The theorems of E.A. Barbashin, G.A. Leonov, F. Hartman were used.

Keywords: Lorentz equations, dissipativity domain, stability of stationary solutions.

Морозов Алексей Валентинович
канд. физ.-мат. наук, ФГБОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», г. Санкт-Петербург
vka@mail.ru
Ершова Елена Викторовна
Преподаватель, ФГБОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», г. Санкт-Петербург

Аннотация. В статье рассматривается система дифференциальных уравнений Э. Лоренца — трехмерная модель конвективного течения жидкости в плоском слое. В рамках прямого метода Ляпунова получены условия ее глобальной асимптотической устойчивости. При этом использовались теоремы Дж. Сильвестра, Е.А. Барбашина, Г.А. Леонова, Ф. Хартмана.

Ключевые слова: уравнения Лоренца, область диссипативности, устойчивость стационарных решений.

Введение

Рассмотрим нормальную автономную систему дифференциальных уравнений в векторной форме

$$\dot{X} = f(X),\ X \in \mathbb{R}^n,\ f \in C^1(\mathbb{R}^n). \qquad (a)$$

Хорошо известны следующие определения. Область $\mathbb{D} \subset \mathbb{R}^n$ называется областью диссипативности системы уравнений (*a*), если для любой точки $X_0 \subset \mathbb{R}^n$ найдется число $\tau > 0$, такое, что при всех $t > \tau$ будет выполнено включение $X(t, X_0) \in \mathbb{D}$ [1–3]. Точка $X_0 \subset \mathbb{R}^n$ называется состоянием равновесия системы (*a*), если $f(X_0) = 0$, т.е. $X = X_0$ есть стационарное решение системы (*a*). Множество $\Lambda \subset \mathbb{D}$ называется стационарным множеством системы (*a*), если оно состоит из состояний равновесия. Будем предполагать, что множество Λ состоит из изолированных точек. Систему (*a*) будем называть: глобально асимптотически устойчивой, если любая ее траектория $X = X(t, X_0)$ стремится в фазовом пространстве при $t \to \infty$ к одному из состояний равновесия, устойчивой в целом, если она имеет одно состояние равновесия и глобально асимптотически устойчива [4].

Для вектор-функции $f(X)$ введем в рассмотрение матрицу Якоби

$$\mathbf{J}(X) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \cdots & \cdots & & \cdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{pmatrix}.$$

Транспонированную матрицу $\mathbf{J}(X)$ обозначим $\mathbf{J}^*(X)$.

Далее, для формулировки основного утверждения статьи нам потребуется следующее утверждение [5].

<u>Теорема</u> (Ф. Хартман). Пусть $\mathbb{D}$ – область диссипативности системы уравнений (a) и пусть в каждой ее точке X сумма двух максимальных собственных чисел матрицы

$$\mathbf{A} = \frac{1}{2}\left[\mathbf{J}(X) + \mathbf{J}^*(X)\right]$$

меньше нуля. Тогда система дифференциальных уравнений (*a*) глобально асимптотически устойчива.

Модель Лоренца и ее диссипативность

Рассмотрим систему уравнений Лоренца в ее классическом виде [6]

$$\begin{cases} \dot{x} = -\sigma x + \sigma y, \\ \dot{y} = rx - y - xz, \\ \dot{z} = -bz + xy. \end{cases} \qquad (1)$$

Здесь σ, b, r – положительные параметры.

Известно, что система (1) при всех σ, b, r – диссипативна. При $r < 1$ она имеет одно асимптотически устойчивое по Ляпунову состояние равновесия $C_0\left(x = 0, y = 0, z = 0\right)$ и устойчива в целом. При $r > 1$ состояние равновесия C_0 теряет свою устойчивость, передавая ее двум рождающимся из него состояниям равновесия $C_{1,2}\left(x = \pm\sqrt{b(r-1}, y = \pm\sqrt{b(r-1}, z = r-1\right)$.

Существует много доказательств диссипативности системы (1). Первые результаты были получены в рамках прямого метода Ляпунова с использованием квадратичных форм и отражены, в частности, в следующих публикациях [7–10]. Приведём один из таких результатов. Для этого введём в рассмотрение функцию

$$V\left(x, y, z\right) = y^2 + \left(z + r\right)^2.$$

Легко проверяется справедливость следующего неравенства

$$\dot{V}_{(1)} + 2\lambda V \le 2\lambda\Gamma.$$

Здесь $\dot{V}_{(1)}$ обозначает производную функции V, вычисленную в силу дифференциальных уравнений (1); параметры λ и Γ определяются формулами:

$$\lambda = \begin{cases} \dfrac{b}{2}, & \text{если } b < 2, \\ 1, & \text{если } b \ge 2 \end{cases} \text{ и } \Gamma = \begin{cases} r^2, & \text{если } b < 2, \\ \dfrac{r^2 b^2}{4\left(b-1\right)}, & \text{если } b \ge 2. \end{cases}$$

А тогда верхний предел

$$\overline{\lim_{t\to+\infty}}\left\{y^2\left(t\right) - \chi\left(z\left(t\right)\right)\right\} \le 0 \qquad (2)$$

где функция

$$\chi\left(z\right) = \begin{cases} r^2 - \left(z - r\right)^2, & \text{если } b < 2, \\ \dfrac{r^2 b^2}{4\left(b-1\right)} - \left(z - r\right)^2, & \text{если } b \ge 2, \end{cases}$$

$x = x\left(t\right), y = y\left(t\right), z = z\left(t\right)$— произвольное решение системы (1).

Заметим, что из неравенства (2) и первого уравнения системы (1), как следствие, вытекает следующая оценка на компоненту решения $x\left(t\right)$:

$$\overline{\lim_{t\to+\infty}}\left|x\left(t\right)\right| \le \sqrt{\chi\left(r\right)}.$$

Глобальная асимптотическая устойчивость

Далее мы ограничимся рассмотрением сравнительно мало изученного случая $b < 2$.

Заменой $u = \dfrac{x}{\alpha}$ приведем систему (1) к виду

$$\begin{cases} \dot{u} = -\sigma u + \dfrac{\sigma}{\alpha} y, \\ \dot{y} = \left(r - z\right)\alpha u - y, \\ \dot{z} = -bz + \alpha u y. \end{cases} \qquad (3)$$

Здесь α — варьируемый параметр. Составим для системы (3) симметризованную матрицу Якоби

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} -\sigma & \dfrac{1}{2}\left[\dfrac{\sigma}{\alpha} + \left(r - z\right)\alpha\right] & \dfrac{\alpha y}{2} \\ \dfrac{1}{2}\left[\dfrac{\sigma}{\alpha} + \left(r - z\right)\alpha\right] & -1 & 0 \\ \dfrac{\alpha y}{2} & 0 & -b \end{pmatrix}. \qquad (4)$$

Пусть $\lambda_1\left(\mathrm{X}\right), \lambda_2\left(\mathrm{X}\right), \lambda_3\left(\mathrm{X}\right)$ – спектр матрицы (4) в точке $\mathrm{X} = \left(u, y, z\right)$.

Тогда, как хорошо известно, сумма $\lambda_1\left(\mathrm{X}\right) + \lambda_2\left(\mathrm{X}\right) + \lambda_3\left(\mathrm{X}\right) = -1 - b - \sigma$.

Введём в рассмотрение матрицу

$$\mathbf{B} = \mathbf{A} + \left(1 + b + \sigma\right)\mathrm{I}, \qquad (5)$$

где I — 3x3 единичная матрица. Нетрудно видеть, что собственные числа $\mu_i\left(\mathrm{X}\right)$ матрицы $\mathbf{B}$ связаны с собственными числами $\lambda_i\left(\mathrm{X}\right)$ матрицы $\mathbf{A}$ равенствами

$$\mu_i\left(\mathrm{X}\right) = \lambda_i\left(\mathrm{X}\right) + 1 + b + \sigma\left(i = 1, 2, 3\right).$$

Потребуем теперь, чтобы матрица (5) была положительно определена в области

$$\mathbb{D} \equiv \left\{ x, y, z : \left|x\right| \le x_0, \quad y^2 + \left(z - r\right)^2 \le r^2 \right\}.$$

Это, в свою очередь, будет означать, что все собственные числа

$$\mu_i\left(\mathrm{X}\right) > 0\left(i = 1, 2, 3\right) \quad \forall \mathrm{X} \in \mathbb{D}.$$

Согласно критерию положительной определенности квадратичных форм [2,11], это будет выполнено при

$$\left(b + 1\right)\left(\sigma + b\right)\left(\sigma + 1\right) >$$
$$> \max_{\left(y,z\right)\in\mathbb{D}}\left\{\left(\sigma + b\right)\frac{y^2\alpha^2}{4} + \frac{1}{4}\left(\sigma + 1\right)\left[\frac{\sigma}{\alpha} + \left(r - z\right)\alpha\right]^2\right\}.$$

Нетрудно видеть, что максимум достигается в точке $y = 0,\ z = 0$. Тогда

$$4\left(b + 1\right)\left(\sigma + b\right) > \left[\frac{\sigma}{\alpha} + r\alpha\right]^2.$$

Отсюда вытекает неравенство

$$r < 2\frac{\sqrt{(b+1)(\sigma+b)}}{\alpha} - \frac{\sigma}{\alpha^2}, \qquad (6)$$

правая часть, которого достигает максимума при $\alpha_* = \frac{\sigma}{\sqrt{(b+1)(\sigma+b)}}$.

Подставляя в (6) значение $\alpha = \alpha_*$, окончательно получаем

$$r < b + 1 + \frac{b(b+1)}{\sigma}. \qquad (7)$$

Таким образом, при выполнении (7) матрица (3) положительно определена в $\mathbb{D}$. А это означает, что сумма максимальных собственных чисел матрицы (4) в каждой точке $X \in \mathbb{D}$ отрицательна. Таким образом, приходим к следующему утверждению.

Теорема. Если параметры системы Лоренца σ, b, r удовлетворяют неравенству (7), то она глобально асимптотически устойчива, т.е. любая ее траектория стремится при $t \to +\infty$ к одному из состояний равновесия.

Заключение

Доказанная теорема дополняет известные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плисс В.А. Интегральные множества периодических систем дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1977. 304 с.
2. Барбашин Е.А. Функции Ляпунова. М.: ЛИБРКОМ, 2014. 246 с.
3. Булекбаев Д.А., Морозов А.В. Об одном обобщении системы Лоренца и оценках ее области диссипативности. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024. № 7. С. 64–66.
4. Leonov G.A., Ponomarenko D.V., Smirnova V.B. Frequency-Domain Methods for Nonlinear Analysis. Theory and Applications. World Scientific. Singapore, 1996, 496 p.
5. Smith R.A. Some applications of Harsdorf dimension inequalities of or ordinary differential equations. Proc. Roy. Soc. Edinburgh, 1986, v. A 104, № 3–4, p. 235–259.
6. Lorenz E.N. Deterministic nonperiodic flow // J. Atmospheric Science, 1963. Vol. 20, № 2. P. 130–141. (Странные аттракторы: Пер. с англ. М.: Мир, 1981. С.88–116).
7. Sparrow C. The Lorenz Equations: Bifurcations, Chaos and Strange Attractors. Springer — Verlag. Berlin, 1982, v. 41 262 p.
8. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. М.: URSS. 2009. 424 с.
9. Леонов Г.А. О глобальной устойчивости системы Лоренца // Прикладная математика и механика. 1983, Т.47, № 5, С. 861–863.
10. Леонов Г.А., Морозов А.В. О глобальной устойчивости стационарной генерации в мазерах // Радиотехника и электроника. 1987. Т. 32, № 9. С. 1915–1921.
11. Морозов А.В. О некоторых проблемах содержания курса дифференциальных уравнений // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 1. С. 73–78.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.27

СУЩНОСТЬ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ В ОРГАНИЗАЦИЯХ

THE ESSENCE OF GENETIC ALGORITHMS AND THEIR APPLICATION IN BUSINESS PROCESS MANAGEMENT IN ORGANIZATIONS

A. Oshkin
V. Pavlov

Summary. In the modern conditions of functioning of economic systems, problems caused by a high degree of uncertainty and turbulence of the external environment are of particular relevance. Multicriteriality of management decisions, caused by a variety of possible vectors of development of organizations, is complicated by incompleteness of information flows, presence of errors in data and inconsistency of initial parameters. These factors significantly limit the effectiveness of traditional methods of optimization of business processes. In these conditions, genetic algorithms demonstrate high potential as a tool for solving multifactorial management problems, which helps to maximize the effectiveness of management decisions in dynamic economic systems. The essence of genetic algorithms is analyzed, various interpretations and definitions are considered. The features and advantages of using this technique in the field of business process management in organizations are considered. The features of the application of genetic algorithms in the financial management of an organization, as well as the determinants of the popularization of this method in various organizations are considered.

Keywords: genetic algorithm, population, individual, chromosome, gene, evolution, operator, business process, financial management.

Ошкин Андрей Владимирович
Аспирант,
Московский финансово-юридический университет
Andrey.OshkinVL@yandex.ru
Павлов Валерий Анатольевич
кандидат экономических наук, доцент,
Московский финансово-юридический университет
29359332@s.mfua.ru

Аннотация. В современных условиях функционирования экономических систем особую актуальность приобретают проблемы, обусловленные высокой степенью неопределенности и турбулентности внешней среды. Многокритериальность управленческих решений, вызванная разнообразием возможных векторов развития организаций, осложняется неполнотой информационных потоков, наличием погрешностей в данных и противоречивостью исходных параметров. Данные факторы существенно ограничивают эффективность применения традиционных методов оптимизации бизнес-процессов. В этих условиях генетические алгоритмы демонстрируют высокий потенциал как инструмент решения многофакторных задач управления, что способствует максимизации эффективности управленческих решений в динамических экономических системах. Проанализирована сущность генетических алгоритмов, рассмотрены разные толкования и дефиниции. Рассмотрены особенности и преимущества применения данной методики в сфере управления бизнес-процессами в организациях. Рассмотрены особенности применения генетических алгоритмов в управлении финансами организации, а также детерминанты популяризации данного метода в различных организациях.

Ключевые слова: генетический алгоритм, популяция, особь, хромосома, ген, эволюция, оператор, бизнес-процесс, финансовое управление.

Генетические алгоритмы, методическая основа которых позаимствована из процессов эволюции и естественного отбора в природе, играют важную роль в повышении производительности при решении сложных задач в разнообразных дисциплинах, в том числе в области биоинформатики, инженерии и даже экономики. Эти уникальные методы выделяются своей способностью эффективно находить наилучшие решения для сложных задач. Эпоха развития генетических алгоритмов наступила в 1960-е гг., когда происходили значительные изменения в социальной, экономической, технологической и интеллектуальной сферах. В это время не только проводились теоретические исследования, но и создавались необходимые технические условия, которые способствовали появлению и прогрессу генетических алгоритмов [5].

В основе генетических алгоритмов лежат принципы, вытекающие из теории эволюции, которая, в свою очередь, прошла длительный путь развития и получила эмпирическое подтверждение через идеи о непостоянстве природного мира. Эти идеи были впервые артикулированы античными философами, в числе которых выделяются Гераклит, Эмпедокл, Демокрит, и Лукрей. Они предполагали, что органические формы подвержены изменениям и трансформациям, что приводит к возникновению новых видов на основе уже существующих [12]. Эти начальные представления нашли свое развитие в работах первопроходцев в области изучения эволюции, среди которых были Р. Гук, Э. Дарвин (предок Чарльза Дарвина), Д. Дидро, Ж.Л. Бюффон, Э.Ж. Сент-Илер, К.Ф. Рулье и Ж.Б. Ламарк. Однако, именно с публикацией в 1859 году работы Чарльза Дарвина «О происхождении

видов», теория эволюции обрела широкое признание и популярность, что в дальнейшем положило начало разработке генетических алгоритмов, которые строятся на основе эволюционных принципов, подразумевая наличие механизмов естественного отбора и вариации, способствующих оптимизации и адаптации [11]. Для выявления особенностей применения данного метода рассмотрим мнения разных авторов в отношении толкования понятия «генетические алгоритмы». Соответствующее исследование представлено в таблице 1.

Согласно таблице 1, разные исследователи различным образом подходят к определению сущности методики, основанной на генетических алгоритмах, преимущественно выделяя аспектные характеристики. При этом общее рассмотрение всех представленных дефиниции позволяет сформировать комплексный подход к определению сущности метода, его специфики. Прежде чем сформулировать уточненное толкование содержания понятия «генетические алгоритмы», рассмотрим мнения авторов научных исследований и публикации по исследуемой тематике.

А.С. Ткаченко [13] акцентирует внимание на том, что генетические алгоритмы относят к области мягких вычислений. Этот инновационный метод включает в себя объединение различных передовых технологий, среди которых нечеткая логика, искусственные нейронные

Таблица 1.

Анализ толкований понятия «генетические алгоритмы»

Автор/ источник	Содержание определения	Комментарии
1	2	3
А.С. Ткаченко [13]	Генетические алгоритмы относят к области мягких вычислений. Этот инновационный метод включает в себя объединение различных передовых технологий, среди которых нечеткая логика, искусственные нейронные сети, вероятностные алгоритмы, а также эволюционные и генетические алгоритмы. Эти технологии отличались гибкостью применения, как в комбинации, так и по отдельности, для разработки сложных интеллектуальных систем. В этом контексте, генетические алгоритмы выделялись, подчеркивая ценность совмещения разнообразных подходов для достижения прогресса в области мягких вычислений и создания эффективных интегрированных решений.	Данный подход отражает одно из свойств данного метода — мягкость вычислений. При этом не отражает механизм действия, особенности метода, его целевую характеристику.
Ш.Р. Давронов [4]	Генетический алгоритм — это алгоритм, скопированный из процессов естественного отбора и известен как генетический, принадлежащий к семейству эволюционных техник. Его принципы укоренены в понимании, что выживание возможно только для наиболее адаптированных.	В данном случае автор описывает особенности методики, ее отличие от других, но при этом не рассматривает механизм действия, сферы применения, особенности целевого аспекта.
Т.В. Панченко [9]	В области оптимизационных задач наблюдается растущая тенденция применения генетических алгоритмов. Эти методы уникальны тем, что они могут быть настроены для удовлетворения конкретных потребностей любой задачи, черпая вдохновение из генетического наследования и естественного отбора, процессов, присущих биологии. В своей работе генетические алгоритмы не только занимаются заимствованием биологической терминологии, но также эффективно применяют ключевые аспекты линейной алгебры в их упрощенной версии	Данное определение отражает особенности методики, ее связь с естественными процессами в природе, а также универсальность применения. При этом автор не уточняет механизм применения и особенности использования в рамках решения конкретных задач
А.С. Бровкина, С.В. Пальмов [2]	Главная цель, которую преследует генетический алгоритм, заключается в поиске оптимального решения, соответствующего установленным требованиям специфической задачи, что делает его представителем эвристических подходов	Авторы рассматривают целевой аспект применения методики, ее эвристическую природу. При это не выделяют механизм, особенности и сферы его применения
М.А. Щукин [14]	Целью, которую преследуют генетические алгоритмы, является преобразование изначального множества неидеальных ответов в коллекцию оптимальных решений. Для достижения этой цели применяются уникальные методы, характерные только для генетических алгоритмов. Эти алгоритмы стремятся найти наилучшие решения для специфических заданий или проблем, используя имеющиеся данные, благодаря своему специализированному функционалу.	Следует уточнить, что целью метода является поиск наилучшего решения среди полученных в рамках конечной популяции. Кроме того, автор не рассматривает механизм и не выделяет особенности метода, его отличие от других оптимизационных методов.

Автор/ источник	Содержание определения	Комментарии
1	2	3
А.А. Мицель [8]	Генетические алгоритмы, относящиеся к обширному семейству эволюционных алгоритмов, представляют собой передовые методы адаптации, используемые для выявления высококачественных ответов на проблемы оптимизации и поиска. Они уникальны тем, что вдохновлены механизмами естественного отбора, применяя принцип «выживания наиболее подходящего» к ряду поколений для идентификации наилучших решений. Эти методы отличаются использованием интеллектуальных стратегий случайного поиска, усиленных обзором исторических данных, и направлены на фокусировку усилий в зонах с потенциально высокой эффективностью.	Автор описывает особенности метода, первичный образец их формирования и действия, при этом не отражены условия применения метода, сферы и эффективность его применения.
О.А. Мелихова [7]	Генетический алгоритм — это один из методов создания искусственного интеллекта и, равно как и искусственные нейронные сети, лежит в основе биологического подхода к моделированию ИИ	Авторы отражают общий принцип формирования искусственного интеллекта на основе данной методики. При этом не рассматривается сама суть методики, механизм действия, целевой аспект, сферы применения.
К.Е. Сердюков, Т.В. Авдеенко, Е.С. Макарова [10]	Генетический алгоритм является частью широкого спектра самообучающихся методик. Этот подход позволяет ему выполнять функции, схожие с теми, что применяются в области машинного обучения, включая способность к адаптации и переработке данных. В основе машинного обучения лежит идея, что искусственный интеллект может развиваться, погружаясь в изучение уже известных решений похожих задач. Это обеспечивает его способность к решению новых задач на основе накопленных знаний, даже если он с такими задачами ранее не сталкивался.	

Источник: составлено автором на основе представленных источников

сети, вероятностные алгоритмы, а также эволюционные и генетические алгоритмы. Эти технологии отличались гибкостью применения, как в комбинации, так и по отдельности, для разработки сложных интеллектуальных систем. В этом контексте, генетические алгоритмы выделялись, подчеркивая ценность совмещения разнообразных подходов для достижения прогресса в области мягких вычислений и создания эффективных интегрированных решений. Данный подход отражает одно из свойств данного метода — мягкость вычислений. При этом не отражает механизм действия, особенности метода, его целевую характеристику.

Ш.Р. Давронов [4] выделяет аспект первичного заимствования методики из природных процессов. По его мнению, генетический алгоритм — это алгоритм, скопированный из процессов естественного отбора и известен как генетический, принадлежащий к семейству эволюционных техник. Его принципы укоренены в понимании, что выживание возможно только для наиболее адаптированных. В данном случае автор описывает особенности методики, ее отличие от других, но при этом не рассматривает механизм действия, сферы применения, особенности целевого аспекта.

Т.В. Панченко [9] отмечает, что в области оптимизационных задач наблюдается растущая тенденция применения генетических алгоритмов. Эти методы уникальны тем, что они могут быть настроены для удовлетворения конкретных потребностей любой задачи, черпая вдохновение из генетического наследования и естественного отбора, процессов, присущих биологии. В своей работе генетические алгоритмы не только занимаются заимствованием биологической терминологии, но также эффективно применяют ключевые аспекты линейной алгебры в их упрощенной версии. Данное определение отражает особенности методики, ее связь с естественными процессами в природе, а также универсальность применения. При этом автор не уточняет механизм применения и особенности использования в рамках решения конкретных задач.

Согласно исследованиям А.С. Бровкиной и С.В. Пальмова [2], генетический алгоритм направлен на поиск наилучшего решения, удовлетворяющего всем условиям поставленной задачи. Эта особенность относит его к классу эвристических методов, которые фокусируются на достижении оптимального результата. В данном случае исследователи определяют целевой аспект применения методики, при этом не отражают цельность категории, не выделяют механизм, особенности и сферы применения генетического алгоритма.

По мнению М.А. Щукина [14], целью, которую преследуют генетические алгоритмы, является преобразование изначального множества неидеальных ответов в коллекцию оптимальных решений. Для достижения этой цели применяются уникальные методы, характерные только

для генетических алгоритмов. Эти алгоритмы стремятся найти наилучшие решения для специфических заданий или проблем, используя имеющиеся данные, благодаря своему специализированному функционалу. Следует уточнить, что целью метода является поиск наилучшего решения среди полученных в рамках конечной популяции. Кроме того, автор не рассматривает механизм и не выделяет особенности метода, его отличие от других оптимизационных методов.

А.А. Мицель [8] считает, что генетические алгоритмы, относящиеся к обширному семейству эволюционных алгоритмов, представляют собой передовые методы адаптации, используемые для выявления высококачественных ответов на проблемы оптимизации и поиска. Они уникальны тем, что вдохновлены механизмами естественного отбора, применяя принцип «выживания наиболее подходящего» к ряду поколений для идентификации наилучших решений. Эти методы отличаются использованием интеллектуальных стратегий случайного поиска, усиленных обзором исторических данных, и направлены на фокусировку усилий в зонах с потенциально высокой эффективностью. Автор описывает особенности метода, первичный образец их формирования и действия, при этом не отражены условия применения метода, сферы и эффективность его применения.

По мнению О.А. Мелиховой [7], генетический алгоритм — это один из методов создания искусственного интеллекта и, равно как и искусственные нейронные сети, лежит в основе биологического подхода к моделированию искусственного интеллекта. К.Е. Сердюков, Т.В. Авдеенко, Е.С. Макарова [10] добавляют, что генетический алгоритм является частью широкого спектра самообучающихся методик. Этот подход позволяет ему выполнять функции, схожие с теми, что применяются в области машинного обучения, включая способность к адаптации и переработке данных. В основе машинного обучения лежит идея, что искусственный интеллект может развиваться, погружаясь в изучение уже известных решений похожих задач. Это обеспечивает его способность к решению новых задач на основе накопленных знаний, даже если он с такими задачами ранее не сталкивался. Авторы отражают общий принцип формирования искусственного интеллекта на основе данной методики. При этом не рассматривается ее суть, механизм действия, целевой аспект, сферы применения.

Таким образом, в результате проведенного критического анализа дефиниций сформулируем уточненное определение исследуемого понятия: по нашему мнению, генетические алгоритмы — это методика поиска наилуч-

Таблица 2.

Основные понятия, используемые в рамках методики генетических алгоритмов

Понятие	Значение	Применение в сфере управления бизнес-процессами в организациях
1	2	3
Популяция	Популяция Pt	Это набор исходных и модифицированных решений в бизнес-процессах, либо вариации действий для каждого конкретного бизнес-процесса и этапа
Особь или хромосома	Элементы, из которых состоят популяции: $P^t = \{P_1, P_2, ..., P_i, ..., P_{Np}\}$ есть множество элементов P_i, $t = 0, 1, 2, ...$, — номер генерации генетического алгоритма, N_p — размер популяции	Конкретное решение в рамках исходных (родители) либо модифицированных решений (родители и дети)
Гены	Элементы, из которых состоят особи, хромосомы $P^i = \{g^1, g^2, ..., g^v\}$	Элемент варианта, решения (например, выбор материалов, места реализации проекта, состава исполнителей и т.д.)
Локус	Позиция в хромосоме	Определяет обозначение (нумерацию) решения
Аллель	Функциональное значение гена	Функция элемента варианта, решения
Родители, дети	Это особи (хромосомы): родители — исходные вариации, дети — вариации, получаемые в результате скрещивания	Это исходные либо полученные в результате скрещивания варианты, решения
Эволюция популяции	Это чередование поколений (популяций) с целью формирования популяции, наиболее приспособленной к внешней среде, то есть системы наилучших вариаций	Отбор наилучших решений
Оператор	Это инструменты выполнения генетического алгоритма: скрещивания, образования новых популяций	Определяет варианты скрещивания, например, посредством замены одного либо нескольких элементов варианта, решения

Источник: составлено автором на основе источника: [3]

шего варианта, решения, способствующего наиболее эффективному достижению цели в рамках процесса, задачи, проекта, основанному на применении природных механизмов эволюции и естественного отбора и их совершенствовании посредством расширения вариаций формирования потомков и проработки каждого возможного варианта популяции с целью получения наилучшего решения среди полученных в рамках конечной популяции. Методика лежит в основе формирования и развития искусственного интеллекта и его применения в разных сферах деятельности.

Прежде чем рассмотреть особенности применения генетических алгоритмов в сфере управления бизнес-процессами в организациях, выделим основные понятия, используемые в рамках методики. Соответствующие данные представлены в таблице 2.

Результаты, представленные в таблице 2, свидетельствуют о том, что использование системы обозначений, отражающей естественные природные процессы, способствует более глубокому пониманию методологического принципа, а также расширяет возможности её практического применения в рамках искусственно формируемых систем и задач. При этом следует уточнить содержание и функционал оператора. В условиях природы варианты скрещивания ограничены, что обусловлено особенностями хромосомных строений и природных процессов. В условиях искусственного применения алгоритма, например, для решения задач в рамках экономических систем и бизнес-процессов варианты скрещиваний определяются целями и задачами конкретного процесса.

Рассмотрим механизм действия генетического алгоритма (рисунок 1).

Согласно рисунку 1, механизм действия исследуемой методики состоит в реализации алгоритма по формированию популяций. Представленная схема является циклом формирования каждой следующей популяции, которая будет лучше предыдущей. Важным аспектом в системе реализации данного алгоритма является определение фитнесс-функции особей в популяции, которая представляет собой уровень приспособленности особи к внешней среде. В бизнес-процессах это означает уровень соответствия варианта, решения, действия целям и задачам, наилучшей реализации процессов. Важным инструментом в системе оценки уровня приспособляемости является ранжирование особей по данному критерию. Сокращение расширенной популяции до исходного размера преполагает, что полученная в результате скрещивания популяция, состоящая из родителей и детей должна быть сокращена посредством исключения наименее жизнеспособных особей, то есть наименее соответствующих целям и задачам вариантов, действий, проектов и т.д. в бизнес-среде.

Рис. 1. Механизм действия генетического алгоритма
Источник: Составлено автором на основе источников: [1], [15]

Рассмотрим пример применения генетических алгоритмов в бизнес-среде. Основу деятельности хозяйствующего субъекта составляют бизнес-процессы. Бизнес-структуры строятся на основе взаимосвязанных элементов, формирующих их основу. Эти элементы, отличающиеся в рамках отраслевой специфики, направлены на развитие и улучшение производственных мощностей, внедрение инноваций и повышение технологической эффективности, в том числе и привлекательности для инвесторов. Главная цель этих усилий — увеличение производительности компаний, снижение затрат и улучшение качества продукции. Основными элементами бизнес-процесса являются: ресурсы, технология, управляющая и исполняющая системы и продукт (результат) (рисунок 2). Управлять бизнес-процессом — значит обеспечить реализацию варианта, обеспечивающего наилучший результат. Качество бизнес-процесса может определяться скоростью его реализации и конкретными целевыми параметрами продукта (результата).

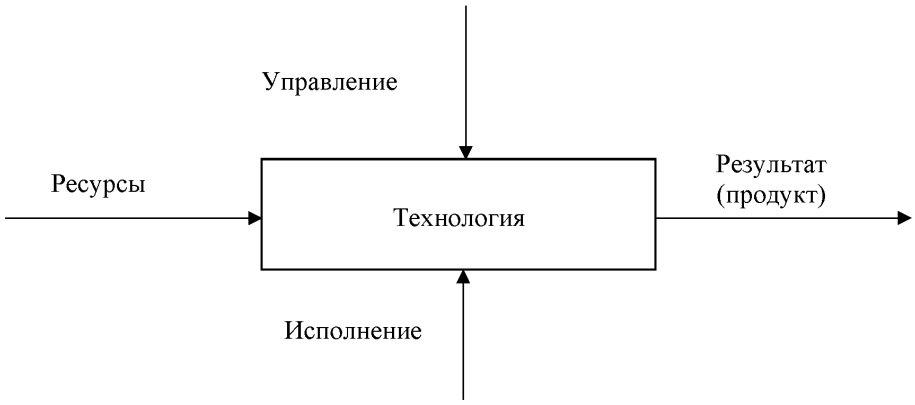


Рис. 2. Структура бизнес-процесса

Источник: составлено автором

Одним из важнейших бизнес-процессов организации является управление финансами [6]. Для данного бизнес-процесса также характерно наличие входов и выходов, технологии, управляющей и исполняющей систем. Одним из направлений финансового управления организации является размещение свободных денежных средств с целью получения дохода. Ресурсами процесса являются свободные денежные ресурсы, информация о возможном размещении средств, информационные ресурсы и системы, с помощью которых будут размещаться средства. Технология — вариант размещения денежных средств. Управляющая система — определяет вариант размещения, исполняющая система — выполняет выбранный алгоритм. Результатом является объем полученной прибыли от размещения свободных денежных средств в установленный период времени.

С помощью генетических алгоритмов в данном случае можно определить технологию бизнес-процесса, то есть вариант размещения денежных средств. Определим элементы генетического алгоритма для данной ситуации. Соответствующая информация представлена в таблице 3.

Согласно таблице 3, для выделенного бизнес-процесса популяцией является набор вариантов размещения денежных средств. Особь, или хромосома — это конкретный вариант размещения денежных средств (в один или несколько продуктов), гены — это продукт размещения денежных средств. Родители — исходные варианты размещения (как правило, моно-вариации с одним продуктом), дети — модифицированные варианты размещения денежных средств. Эволюцией будет являться отбор наилучших решений. С помощью операторов скрещивания будут осуществляться в соответствии с параметрами: объем свободных денежных средств, срок размещения, максимальный уровень риска в денежном выражении. Конечной популяцией станет набор вариантов с наибольшим уровнем доходности. В конечной популяции будет выбрано наибольшее значение, которое и определит технологию бизнес-процесса.

Таблица 3.

Элементы генетического алгоритма для управления бизнес-процессом — управление финансами организации

Наименование элемента	Содержание элемента для бизнес-процесса
Популяция	Набор вариантов размещения денежных средств
Особь или хромосома	Конкретный вариант размещения денежных средств (несколько продуктов)
Гены	Продукт размещения денежных средств
Родители, дети	Родители — исходные продукты размещения денежных средств; Дети — модифицированные варианты размещения денежных средств
Эволюция популяции	Отбор наилучших решений
Оператор	Подбор вариантов с учетом заданных параметров: — объем свободных денежных средств; — срок размещения; — максимальный уровень риска (в денежном выражении)

Источник: составлено автором

Преимущества данного метода в системе управления бизнес-процессами организации заключаются в простоте и понятности механизма реализации. С другой стороны, трудоемкость процесса требует применения программного средства. Такой ресурс должен справляться не только с конкретными задачами в системе управления, но и обладать универсальным механизмом, что позволит эффективно применять его в бизнес-среде. Для обеспечения широты использвоания данного метода разными хозяйствующими структурами требуется создание простого интерфейса с понятным вводом данных, результат должен быть представлен в локаничной форме в виде конкретного решения (рисунок 3).

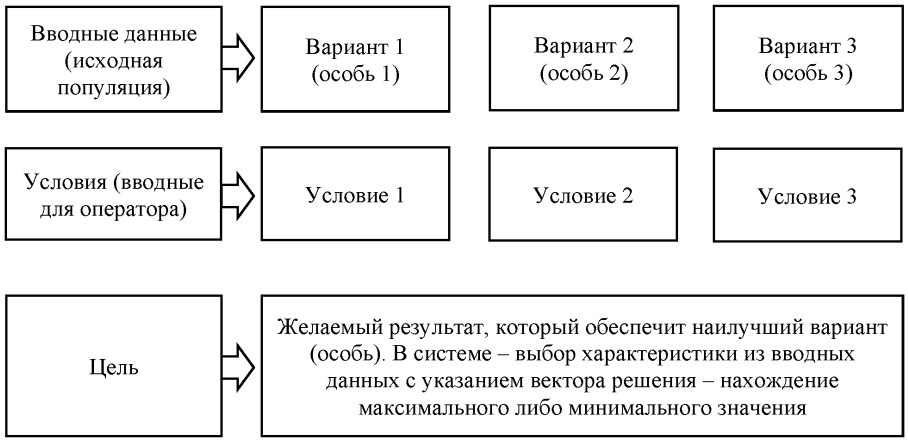


Рис. 3. Интерфейс программного средства для ввода данных с целью решения задачи управления бизнес-процессами с применением генетических алгоритмов

Источник: составлено автором

Формирование универсального программного средства с понятным интерфейсом обеспечит широкое применение методов на основе генетических алгоритмов в системе управления организациями, в том числе малыми и средними предприятиями. Это, в свою очередь, обеспечит повышение качества управления в бизнес-среде, снижение себестоимости, повышение доступности продукции на рынке, а также устойчивость малых предприятий в условиях рынка за счет разработки быстрых и качественных управленческих решений.

Таким образом, стратегия использования генетических алгоритмов заключается в их применении для оптимизации, целью которой является идентификация наиболее эффективного решения или подхода, способствующего улучшению достижения целей в различных проектах и заданиях. В основе этого метода лежит механизм процессов натурального отбора и эволюции, при этом особенностью является его способность к усовершенствованию этих процессов путем создания разнообразия в потомстве и детального рассмотрения каждой альтернативы в популяции для определения наиболее подходящего исхода. Важность этой техники особенно заметна в развитии и создании искусственного интеллекта. Разработка инструмента с интуитивно понятным интерфейсом для использования генетических алгоритмов в менеджменте может кардинально изменить подход к управлению как в крупных, так и в малых и средних компаниях. Это приведет к улучшению общего уровня управления в бизнесе, сокращению издержек, увеличению конкурентоспособности продукции и, как следствие, к более высокой адаптации малого бизнеса к рыночным условиям благодаря способности оперативно и эффективно принимать управленческие решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисова Л.В., Сагаева И.Д. Генетические алгоритмы и задачи актуарной математики: учебно-методическое пособие. Саратов: СГУ им. Н.Г. Чернышевского, 2015. 30 с.
2. Бровкина А.С., Пальмов С.В. Основные возможности генетических алгоритмов // Форум молодых ученых. 2018. №5-1 (21). С. 597–600.
3. Гладков Л.А., Курей чик В.В., Курейч ик В.М. Генетические алгоритмы / Под ред. В.М. Курейчика. 2-е изд., исправл. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 368 с.
4. Давронов, Ш. Р. Обзор современных генетических алгоритмов и их применение на практике / Ш. Р. Давронов // Молодой ученый. 2023. № 36 (483). С. 15–18.
5. Клуб Е.А. Алгоритмы оптимизации, вдохновленные биологическими процессами и эволюцией // Современные инновации. 2018. №1 (23). С. 30–32.
6. Лукьянов Р.В. Управление финансами как бизнес-процесс и способы обеспечения его непрерывности // Вестник науки. 2023. №5 (62). С. 43–47.
7. Мелихова О.А. Применение генетических алгоритмов для построения систем искусственного интеллекта // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. №7 (144). С. 53–58.
8. Мицель А.А. Эвристические методы оптимизации: учебное пособие. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2022. 73 с.
9. Сердюков К.Е. Исследование возможностей генетического алгоритма для извлечения релевантных прецедентов в системах поддержки принятия решений / К.Е. Сердюков, Т.В. Авдеенко, Е.С. Макарова // Сборник трудов III международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2017). Самара: Новая техника, 2017. С. 1864–1870.
10. Сойфер В.Н. Чарлз Дарвин и эволюционная теория // Наука из первых рук. 2010. №4 (34). С. 86–101.
11. Степанов К.А. История возникновения генетических алгоритмов // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. 2015. №2. С. 29–32.
12. Ткаченко А.С. Генетические алгоритмы как интеллектуальный метод стабилизации для системы визуального контроля БПЛА // Вестник науки. 2024. Том 4. №6 (75). С. 1388–1397.
13. Щукин М.А. Генетические алгоритмы как метод решения математических задач // Вестник УРАО. 2014. №5. С. 168–172.
14. Chengxiong Zhou, Lean Yu, Tao Huang, Shouyang Wang, Kin Keung Lai. Selecting Valuable Stock Using Genetic Algorithm// Conference: Simulated Evolution and Learning, 6th International Conference, SEAL 2006, Hefei, China, October 15–18, 2006, Proceedings. DOI:10.1007/11903697_87.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.28

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД НА КЛАСТЕРИЗАЦИЮ: ПОДХОДЫ И ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА К-СРЕДНИХ

A MATHEMATICAL VIEW OF CLUSTERING: APPROACHES AND APPLICATIONS OF THE K-MEANS ALGORITHM

G. Poryvaev
T. Ulengova

Summary. With the development of computer technologies and the growth of data volumes, the mathematics underlying clustering is of particular importance in the field of machine learning. It is determined that clustering as a key method in machine learning uses mathematical models and algorithms to group data sets. It is noted that this process includes determining the measure of similarity between objects and applying optimization methods to divide data into semantic clusters, which allows identifying hidden structures and patterns in the data. Clustering methods in machine learning are considered. Particular attention is paid to the K-means algorithm. The mathematical foundations that allow grouping data by similar characteristics are studied.

Keywords: clustering, machine learning, K-means algorithm, similarity measure, Euclidean distance, centroid, optimization.

Порываев Глеб Витальевич
Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
Уленгова Татьяна Георгиевна
старший преподаватель, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
000516@togudv.ru

Аннотация. С развитием компьютерных технологий и ростом объемов данных, математика, лежащая в основе кластеризации, приобретает особую значимость в области машинного обучения. Определено, что кластеризация как ключевой метод в машинном обучении использует математические модели и алгоритмы для группировки наборов данных. Отмечено, что данный процесс включает в себя определение меры сходства между объектами и применение оптимизационных методов для разделения данных на смысловые кластеры, что позволяет выявлять скрытые структуры и закономерности в данных. Рассмотрены методы кластеризации в машинном обучении. Особое внимание уделено алгоритму К-средних. Исследованы математические основы, которые позволяют группировать данные по схожим характеристикам.

Ключевые слова: кластеризация, машинное обучение, алгоритм К-средних (K-means), мера сходства, евклидово расстояние, центроид, оптимизация.

Кластеризация в машинном обучении представляет собой ключевой метод. От биоинформатики до маркетинговых исследований, кластеризация помогает идентифицировать группы схожих объектов, облегчая понимание и анализ больших наборов данных [6; 11].

В финансах, здравоохранении и розничной торговле кластеризация используется для анализа потребительских предпочтений, прогнозирования трендов и моделирования потребительского поведения, что помогает в стратегическом планировании.

Ключевым элементом в кластеризации является определение «меры сходства» или «расстояния» между различными элементами данных [1]. Это помогает в определении того, насколько близки или далеки данные элементы друг от друга. Наиболее распространенными мерами являются:

Евклидово расстояние: используется в традиционных методах кластеризации, таких как К-средних, для измерения прямого расстояния между точками в пространстве [2].

Манхэттенское расстояние: подходит для сценариев, где необходимо измерить расстояние вдоль осей сетки, например, в городских или компьютерных сетях [4].

К-средних (K-means): Основы К-средних — это популярный алгоритм кластеризации, который целенаправленно разбивает набор данных на К предварительно определенное количество кластеров. Основная идея состоит в минимизации суммы квадратов расстояний каждой точки данных до центра соответствующего ей кластера [7].

Шаги алгоритма:
- Инициализация: Выбор К начальных «центров» (центроидов) кластеров случайным образом.
- Присваивание: Каждая точка данных присваивается к ближайшему центроиду, основываясь на расстоянии (обычно евклидово).
- Обновление центроидов: Пересчет положений центроидов путем нахождения среднего всех точек, принадлежащих кластеру.

Шаги 2 и 3 повторяются до тех пор, пока положения центроидов не стабилизируются [3].

Математическая формулировка

Цель К-средних — минимизировать функцию стоимости, которая определяется как сумма квадратов расстояний от каждой точки до центра ее кластера [5]. Это можно записать как:

$$J = \sum_{i-1}^{n}\sum_{k=1}^{K} w_{ik} * \|x_i - \mu_k\|^2$$

n — количество точек данных;
K — количество кластеров;
w_{ik} — бинарный индикатор, показывающий, принадлежит ли точка i кластеру k;
x_i — i-ая точка данных;
μ_k— центроид k-го кластера.
$\|x_i - \mu_k\|^2$— квадрат евклидова расстояния между x_i и μ_k.

Интерпретация формулы: Формула J представляет собой сумму квадратов расстояний всех точек до их соответствующих центроидов. Минимизация J означает, что мы стремимся сделать внутрикластерные расстояния как можно меньше, что ведет к более плотным и отчетливым кластерам [8].

Используем пример со смоделированными данными, чтобы продемонстрировать, как работает алгоритм К-средних. Здесь, на рисунке 1, моделируем некоторые данные из трех кластеров и отображаем набор данных.

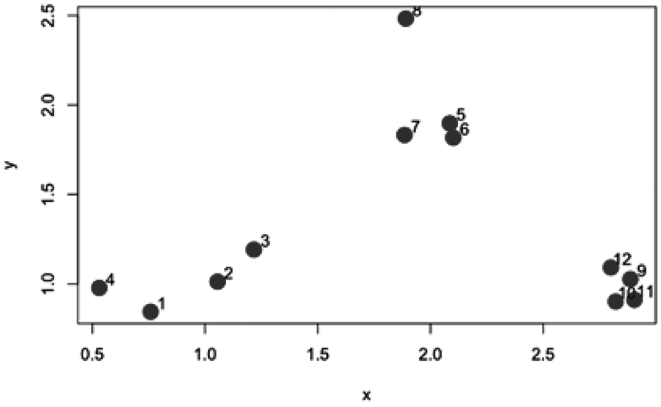


Рис. 1. Начальные данные

Первое, что должен сделать алгоритм К-средние, — это назначить начальный набор центроидов. В этом примере предположим, что существует три кластера. Мы произвольно выберем три центроида и покажем их на графике (рисунок 2).

На следующем этапе алгоритма каждая точка набора данных присваивается ближайшему центроиду. На графике (рисунок 3), раскрашиваем каждую точку в соответствии с цветом ближайшего к ней центроида.

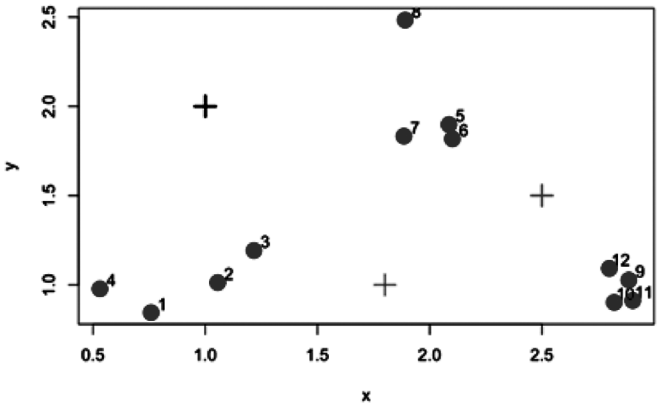


Рис. 2. Отображение центроидов

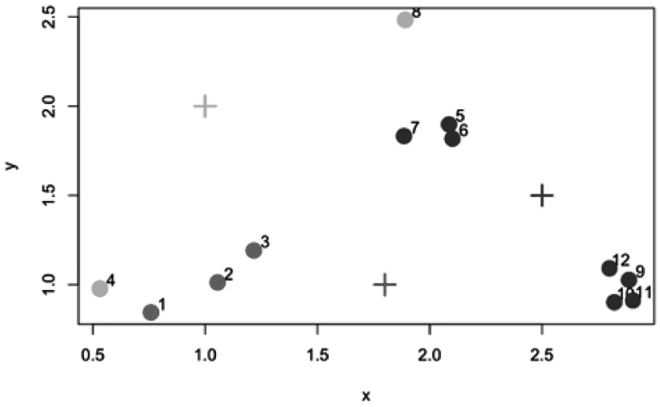


Рис. 3. Присваивание точек

Можно увидеть, что первоначальная кластеризация неправильно группирует некоторые точки, которые находятся в одном кластере.

Следующим этапом является перерасчет центроидов на основе новых кластерных назначений точек данных. Новые центроиды кластера показаны на графике (рисунок 4).

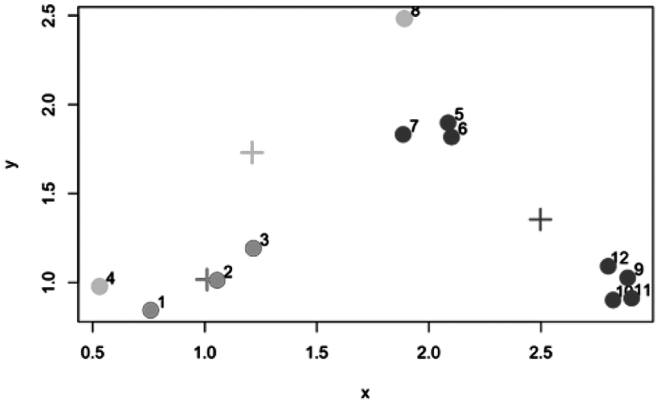


Рис. 4. Первое смещение центроидов

Один полный цикл работы алгоритма завершен и можно продолжить и переназначить точки их (новому) ближайшему центроиду кластера (рисунок 5) [10].

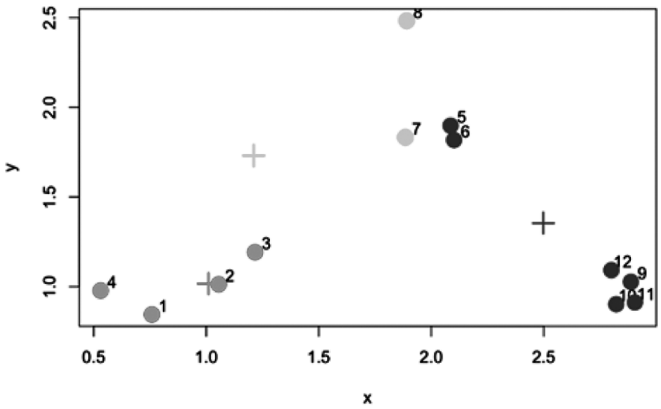


Рис. 5. Второй цикл, присваивание точек

И повторить вновь (рисунок 6).

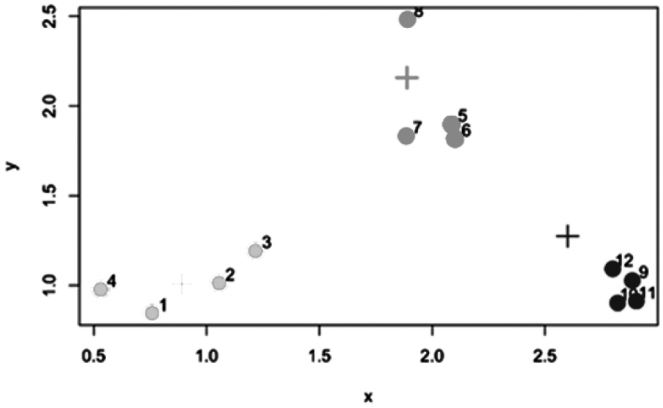


Рис. 6. Третий цикл

Между каждой итерацией можно отследить расстояние, на которое перемещается каждый центроид от одной итерации к другой. Как только это расстояние станет относительно небольшим, можно остановить алгоритм [9].

Допустим, эти точки — это различные виды кофейных напитков, а координаты на графике отражают их характеристики: по оси *x* — крепость кофе (количество кофеина), по оси *y* — сладость напитка (количество сахара). Кластеризация может быть использована кофейней для анализа предпочтений покупателей и выявления популярных вкусовых комбинаций, что поможет сформировать меню, оптимизированное под большинство посетителей.

Точки 1–4 могли бы представлять легкие по крепости напитки с низким содержанием сахара, точки 5–8 — более крепкие и сладкие варианты, точки 9–12 могут представлять собой очень крепкие кофейные напитки с низким содержанием сахара, предпочтительные для любителей эспрессо.

Кластеризация таких данных помогает кофейне понять, какие виды кофе предпочитают разные группы клиентов, и адаптировать свои предложения для удовлетворения спроса.

Метод K-средних гарантированно достигает сходимости, поскольку суммарное квадратичное расстояние между элементами и их центроидами уменьшается как на этапе перераспределения, так и на этапе пересчета.

K-средние наиболее эффективен для данных, где группы имеют приблизительно одинаковый размер и форму. Также метод требует выбора количества кластеров и зависит от начальной конфигурации центроидов. K-средние применим только в евклидовом пространстве, что ограничивает его использование для сложных типов данных.

Несмотря на эти ограничения, K-средние остается популярным инструментом в кластерном анализе благодаря своей эффективности, простоте реализации и понятности. Многие алгоритмы улучшают или обобщают K-средние, сохраняя основную идею близости элементов к центру своей группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брусенцев А.Г. Анализ данных и процессов. Ч.1. Методы статистического анализа данных: учебное пособие; Анализ данных и процессов. Ч.1. Методы статистического анализа да. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2017. 63 с.
2. Шнарева Г.В., Пономарева Ж.Г. Анализ данных: учебно-методическое пособие. Анализ данных. Симферополь: Университет экономики и управления, 2019. 129 с.
3. Пучков Н.П., Жуковская Т.В., Молоканова Е.А., Парфёнова И.А., Попов, А.И. Применение математических знаний в профессиональной деятельности. Пособие для саморазвития бакалавра. Часть 2. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. 65 с.
4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика, учебное пособие. URL: http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/142/Gmurman.pdf (дата обращения: 16.05.2025).
5. K-means clustering. URL: https://andrewirwin.github.io/data-visualization/k-means.html (дата обращения: 16.05.2025).
6. Visualizing K-Means Clustering. URL: https://www.naftaliharris.com/blog/visualizing-k-means-clustering/ (дата обращения: 16.05.2025).
7. K-means clustering with tidy data principles. https://www.tidymodels.org/learn/statistics/k-means/ (дата обращения: 16.05.2025).
8. K-means clustering algorithms: A comprehensive review https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020025522014633#:~:text=Several%20K,proposed%20taxonomy%20for%20the%20variants
9. Scitovski R. Cluster Analysis and Applications. Springer International Publishing AG, 2021. 271 p.
10. Goedegebuure R. K-Means Clustering. 2021. URL: https://bookdown.org/robert_statmind/kmeans_ebook/k-means-clustering.html (дата обращения: 16.05.2025).

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.31

КВАЗИ-СКОЛЬЗЯЩИЙ РЕЖИМ В ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

QUASI-SLIDING MODE IN DISCRETE CONTROL SYSTEMS OF MANIPULATORS WITH ELECTRIC MOTOR: MODELING AND ADAPTIVE CONTROL

R. Rudakov

Summary. The paper deals with methods of controlling a manipulator with one rotating link controlled by a DC motor under discrete-time conditions. The main attention is paid to the development and analysis of quasi-sliding mode in the context of discrete-time control systems, which allows eliminating high-frequency oscillations of the control signal and increasing the stability of the system. Numerical integration methods, including the Euler method, are used to solve the discretization problem of dynamic models, taking into account the discretization frequency. Simulation results show the influence of the choice of discretization and pulse-width modulation parameters on the control accuracy and stability of the system. The paper considers the use of adaptive control, including dynamic gain control depending on the tracking error, which significantly improves the adaptability of the system under uncertainties and external perturbations. Particular attention is paid to the consideration of different approaches to the realization of quasi-sliding mode in discrete systems, as well as optimal parameter ranges to achieve a trade-off between tracking accuracy and chattering elimination. The proposed methods and algorithms can significantly improve the reliability and performance of the manipulator control system. The results of the study can be applied to improve the functional performance and stability of robotic systems and devices under realistic operating conditions, as well as serve as a basis for further research in the field of adaptive and stable control in discrete systems.

Keywords: quasi-sliding mode, discrete control systems, manipulators, DC motor, PWM, discretization, adaptive control, Euler method, stability, chattering, numerical integration.

Рудаков Роман Вадимович
аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
Rorud007@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются методы управления манипулятором с одним вращающимся звеном, управляемым электродвигателем постоянного тока, в условиях дискретного времени. Основное внимание уделено разработке и анализу квази-скользящего режима в контексте дискретных систем управления, что позволяет устранить высокочастотные колебания управляющего сигнала и повысить устойчивость системы. Для решения задачи дискретизации динамических моделей использованы методы численного интегрирования, включая метод Эйлера, с учетом частоты дискретизации. Результаты моделирования показывают влияние выбора параметров дискретизации и широтно-импульсной модуляции на точность управления и стабильность системы. В работе рассматривается использование адаптивного управления, включая динамическое регулирование коэффициента усиления в зависимости от ошибки слежения, что позволяет значительно улучшить адаптивность системы в условиях неопределенностей и внешних возмущений. Особое внимание уделяется рассмотрению различных подходов к реализации квази-скользящего режима в дискретных системах, а также оптимальным диапазонам параметров для достижения компромисса между точностью слежения и устранением чэттеринга. Предложенные методы и алгоритмы способны значительно повысить надежность и производительность системы управления манипулятором. Результаты исследования могут быть применены для улучшения функциональных характеристик и устойчивости роботизированных систем и устройств в реальных условиях эксплуатации, а также служить основой для дальнейших исследований в области адаптивного и устойчивого управления в дискретных системах.

Ключевые слова: квази-скользящий режим, дискретные системы управления, манипуляторы, электродвигатель постоянного тока, ШИМ, дискретизация, адаптивное управление, метод Эйлера, устойчивость, чэттеринг, численное интегрирование.

Цифровые системы управления, применяемые в современных манипуляторах и электроприводах, оперируют в дискретном времени, что требует преобразования непрерывных динамических моделей в дискретные представления. Дискретизация уравнений системы является ключевым этапом проектирования таких систем, поскольку она позволяет адаптировать математические модели к вычислительным возможностям цифровых контроллеров, обеспечивая обработку сигналов и вычисление управляющих воздействий с заданной частотой дискретизации. Однако этот процесс сопряжен с рядом вызовов, таких как потеря точности, возникновение запаздываний управления и потенциальная нестабильность системы, особенно в контексте скользящего режима управления с использованием широтно-импульсной модуляции.

Рассмотрим дискретизацию динамической модели манипулятора с одним вращающимся звеном [1], управляемого электродвигателем постоянного тока, с учетом

квази-скользящего режима и широтно-импульсной модуляции.

Перед тем как перейти к расчетам дискретизации рассмотрим несколько определений скользящего режима в дискретном времени, чтобы разобраться в вопросе. В работе [2] рассмотрены проблемы моделирования и проектирования скользящего режима для дискретных систем управления разрывной правой частью. Для моделирования скользящего режима вводится дискретный скользящий режим, который проектируется как дискретный закон управления, но по своим свойствам аналогичный непрерывному скользящему режиму.

В тоже время в работе [3] рассматриваются системы управления с дискретной переменной структурой. Недавно введенный «подход по закону достижения» удобно использовать для разработки закона управления для робастного управления. Даны комментарии по поводу явления дребезга. Методика проектирования проиллюстрирована на примере смоделированной системы.

Так же следует рассмотреть работу [4], в данной работе рассматриваются системы управления в квазискользящем режиме с дискретным временем. Вводится новое определение, описывающее квазискользящий режим как движение системы, при котором ее состояние всегда остается в определенной зоне вокруг гиперплоскости скольжения:

Квазискользящим режимом в ε окрестности гиперплоскости скольжения $s(k)=cT\cdot x(k)=0$ мы называем такое движение системы, при котором

$$\left|s(k)\right| \le \varepsilon \tag{1}$$

где положительная постоянная ε называется шириной полосы квазискользящего режима.

В этом определении поверхность переключения — линейная функция x, что конечно не обязательное условие. Далее, как указывает Барташевич А. [3], "это определение существенно отличается от предложенного Гао [5], поскольку мы не требуем, чтобы состояние системы пересекало плоскость скольжения на каждом последующем этапе управления. Следовательно, мы устраняем «дребезжание» (т.е. после переходного периода состояние системы и ее выходные данные не изменяются на каждом последующем этапе управления) и достигаем существенного сокращения затрат на управление и повышения качества управления в квазискользящем режиме".

Затем предлагаются два новых закона, удовлетворяющих условиям определения, и применяются для разработки соответствующих стратегий линейного управления [6,7], которые приводят состояние управляемой системы к диапазону вокруг скользящей гиперплоскости. Следовательно, удается избежать нежелательных помех и высокочастотных переключений между различными значениями управляющего сигнала. Эти стратегии, по сравнению с ранее опубликованными результатами, гарантируют более высокую надежность, более быструю сходимость ошибок и повышенную точность системы в установившемся режиме. Кроме того, более высокая производительность системы достигается за счет существенного снижения затрат на управление [8,9,10].

После изучения работ следует провести собственные расчеты и формализовать собственное определение, которое бы учитывало полосу скольжения, устойчивость и учитывать адаптивность.

Преобразование непрерывной модели в дискретную выполняется с учетом частоты дискретизации T_s. Рассмотрим методы дискретизации.

Для численного интегрирования второго порядка удобно применить метод Эйлера. Разрешая уравнение относительно углового ускорения $\ddot{\varphi}$, получаем:

$$\dot{\varphi}_0[k+1] = \dot{\varphi}_0[k] + T_s \frac{M_0[k] - M_н[k] - \dfrac{-(m_0+m_1)gL_0\sin(\varphi_0[k]) - K_f\dot{\varphi}_0[k]}{J+m_1L_0^2}}{}$$

$$\varphi_0[k+1] = \varphi_0[k] + T_s\dot{\varphi}_0[k+1]$$

ШИМ-сигнал, формируемый для управления двигателем, определяется как нормированное напряжение:

$$PWM[k] = \frac{U_a[k]}{U_{\max}} \tag{2}$$

ШИМ применяется к якорю двигателя в виде импульсного сигнала с частотой f_{PWM}, что обеспечивает среднее напряжение $U_a[k]$.

На основе проведенного исследования можно сформировать собственное определение скользящего режима в дискретном времени:

Скользящим [11,12] режимом в дискретной системе управления называется такой режим, при котором:

1. Существует конечное число шагов k_0, после которых траектория состояния $x[k]$ входит в окрестность скользящей поверхности $\sigma(x[k])=0$ и далее удерживается в пределах полосы ширины ε:

$$\left|\sigma(x[k])\right| \le \varepsilon;\ \forall k \ge k_0,$$

где ε>0 — заранее заданная или адаптивно настраиваемая граница скольжения.

2. Существует управляющее воздействие $u[k]$, такое что выполняется условие дискретного убывания функции Ляпунова:

$$V[k+1]-V[k] < 0,\ V[k] = 1/2\sigma(x[k])^2$$

что гарантирует асимптотическую устойчивость режима в пределах полосы.

Предложенное определение отличается от существующих следующим:

- Учет полосы скольжения: В отличие от классического подхода, где требуется пересечение скользящей поверхности на каждом шаге, здесь допускается удержание в окрестности поверхности, что снижает чэттеринг.
- Формализация устойчивости: В отличие от определения квази-скользящего режима, здесь вводится строгое условие убывания функции Ляпунова, обеспечивающее устойчивость системы.
- Адаптивность: Предусматривается возможность адаптивной настройки границы скольжения ε и управляющего воздействия $u[k]$, что повышает гибкость и применимость в различных условиях.

Однако, в квази-скользящем режиме допускается нахождение системы в пределах некоторой окрестности скользящей поверхности:

$$|S[k]| \leq \delta,$$

где δ — параметр, определяющий допустимую полосу колебаний системы относительно идеальной скользящей поверхности.

Таким образом, система не обязана точно удерживаться на поверхности $S[k] = 0$, но должна оставаться в её окрестности. Это позволяет снизить частоту переключений и избежать чрезмерных колебаний управляющего воздействия.

Для эффективного функционирования системы в квази-скользящем режиме необходимо корректно выбрать параметры λ и δ, чтобы обеспечить компромисс между точностью слежения и устранением чэттеринга.

Для построения адаптивного регулятора рассмотрим скользящую поверхность в дискретном времени.

Чтобы учесть изменение динамических параметров системы, вводится адаптивный коэффициент усиления Kadpt, который корректируется в процессе работы системы:

$$K_{adpt}[k+1] = K_{adpt}[k] + T_s\gamma|S[k]|,$$

где γ — коэффициент скорости адаптации, определяющий, насколько быстро изменяется K_{adpt}.

Данный закон обеспечивает увеличение коэффициента усиления, если система отклоняется от скользящей поверхности, что позволяет компенсировать неопределенности, такие как изменение массы нагрузки m_1 или момента сопротивления $M_н(t)$.

Чтобы избежать излишней чувствительности регулятора и обеспечить стабильность, вводится ограничение:

$$K_{\min adpt} \leq K_{adpt}[k] \leq K_{\max adpt}.$$

ШИМ позволяет дискретно управлять двигателем, изменяя ширину подаваемых импульсов в зависимости от управляющего напряжения (18).

ШИМ-сигнал формируется как безразмерная величина в диапазоне [−1,1] и подается на вход контроллера привода, который регулирует среднее значение напряжения $U_a[k]$.

При увеличении ошибки $e[k] \to S[k]$ растет $\to K_{adpt}[k]$ увеличивается $\to$ управляющий сигнал $U_a[k]$ становится больше.

При уменьшении ошибки $K_{adpt}[k]$ снижается, следовательно, двигатель получает более плавное воздействие, предотвращающее избыточные колебания.

Таким образом, адаптивный коэффициент усиливает действие ШИМ при отклонении состояния системы, но не допускает резких скачков сигнала, снижая чэттеринг.

Проведем моделирование в пакете Simulink программы Mathlab, чтобы сравнить непрерывную модель, дискретную модель и ШИМ (рисунок 1).

Модель включает три независимые ветви, каждая из которых содержит элементы управления (скользящий режим, ШИМ), интеграторы для системы второго порядка и выходные графики. I_linear — представляет непрерывную модель, II_linear — дискретную, а III_linear — модель с ШИМ. Наличие блока PWM и дискретизации (1/z) в III_linear подтверждает использование ШИМ в дискретном времени.

Кривая для I_linear, самая плавная, быстро достигающая 1,5 м без заметных колебаний. Это связано с идеальным скользящим режимом, который минимизирует чэттеринг и обеспечивает точное отслеживание заданного положения благодаря непрерывному управлению.

Кривая для II_linear близка к непрерывной, но с небольшими ступенчатыми изменениями или лёгким «шумом», вызванным дискретизацией (шаг 1 / z 1/z). Это приводит к чуть большей ошибке отслеживания по сравнению с I_linear, но система всё равно достигает заданного положения с минимальными отклонениями.

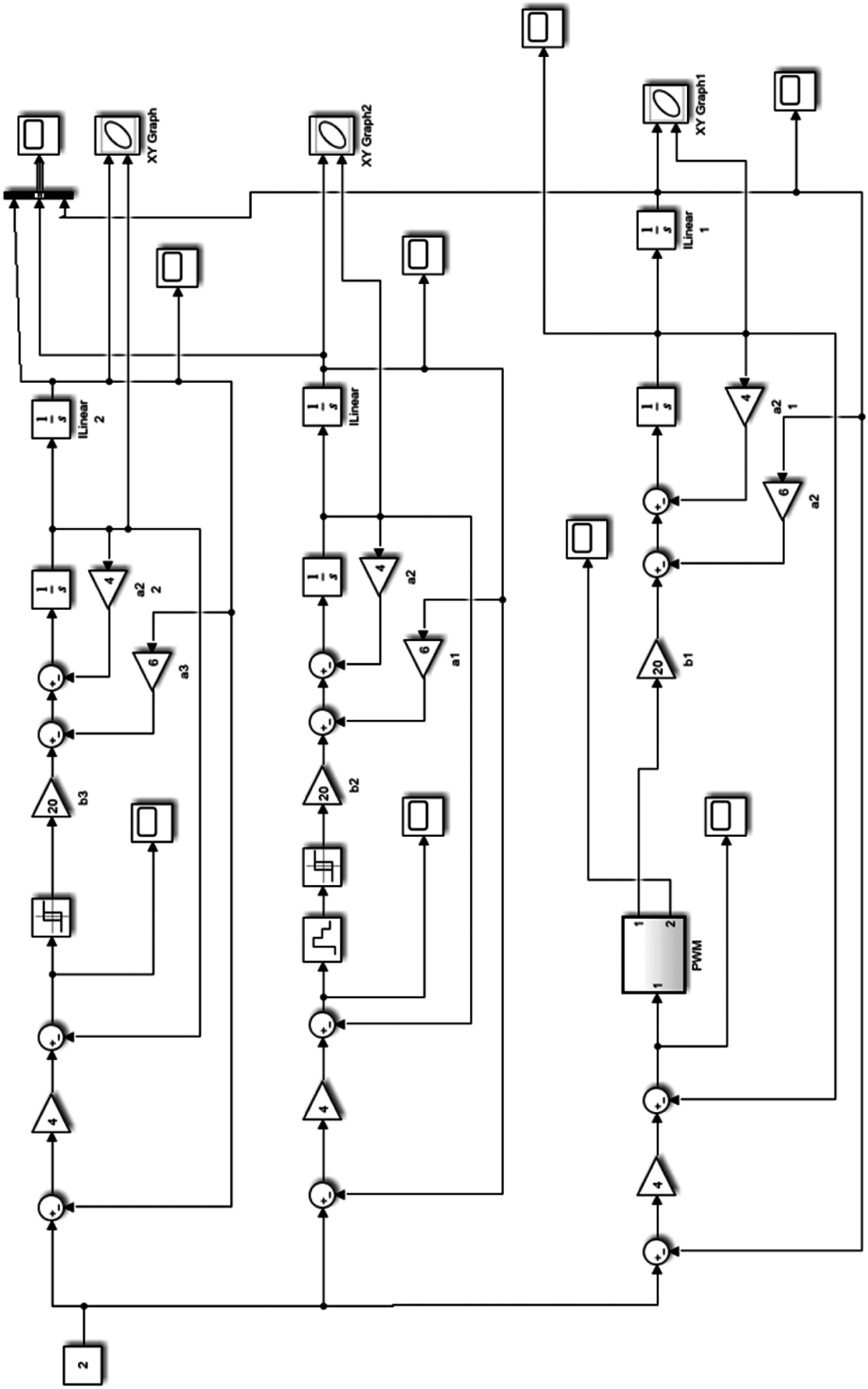


Рис. 1. Схема Simulink с тремя подсистемами (I_linear, II_linear, III_linear), реализующими непрерывную, дискретную и ШИМ-модели соответственно

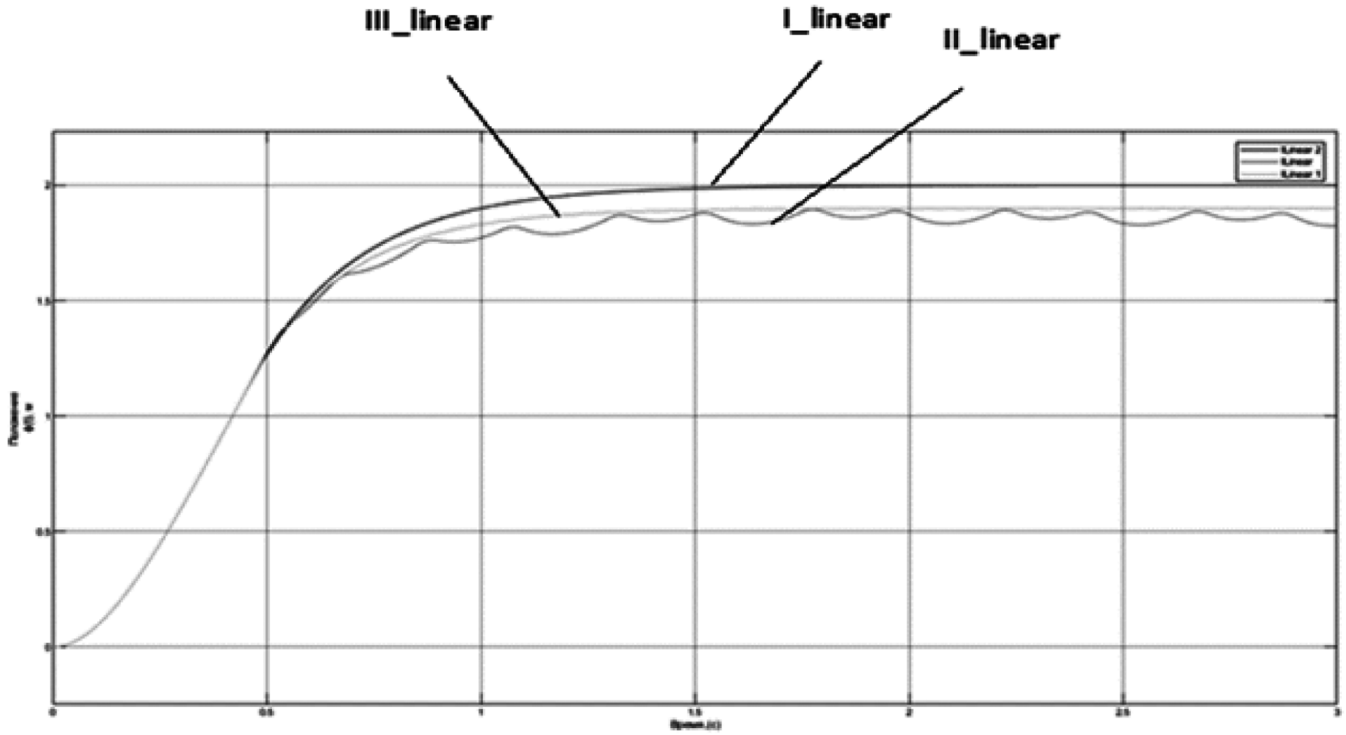


Рис. 2. Сравнение зависимости положения φ(*t*) от времени для непрерывной модели с идеальным скользящим режимом (I_linear), эквивалентной дискретной модели (II_linear) и дискретной модели с ШИМ (III_linear) в квази-скользящем режиме

Кривая для III_linear демонстрирует более выраженные колебания вокруг заданного значения после переходного процесса. Это связано с импульсным характером ШИМ, который вызывает эффект чэттеринга, и дискретизацией, добавляющей ступенчатость. Однако система всё равно стабилизируется вблизи заданного положения, что подтверждает устойчивость алгоритма.

Непрерывная модель (I_linear) показывает наилучшую точность и плавность, что ожидаемо для идеального скользящего режима. Дискретная модель (II_linear) немного уступает из-за дискретизации, но остаётся достаточно точной. Модель с ШИМ (III_linear) демонстрирует наибольшие колебания из-за импульсного управления, что делает её менее точной, но более практичной для реальных систем с цифровым управлением.

Сравнение подчёркивает компромисс между точностью и реализацией: непрерывная модель (I_linear) идеальна для теоретического анализа, но сложна в практической реализации; дискретная модель (II_linear) балансирует между точностью и дискретизацией; модель с ШИМ (III_linear) наиболее применима в цифровых системах, но требует оптимизации для снижения чэттеринга. Для улучшения производительности ШИМ-модели можно увеличить частоту ШИМ, а для дискретной — уменьшить шаг дискретизации.

Выводы

Проведенное исследование посвящено разработке и анализу методов управления манипулятором с одним вращающимся звеном, управляемым электродвигателем постоянного тока, в условиях дискретного времени с использованием широтно-импульсной модуляции. Основной акцент сделан на формировании квази-скользящего режима, обеспечивающего устойчивость, точность слежения и снижение высокочастотных колебаний). В результате исследования получены следующие основные выводы:

1. Дискретизация динамической модели: Разработаны методы дискретизации уравнений движения манипулятора и электрической модели двигателя с использованием метода Эйлера. Установлено, что выбор шага дискретизации (T_s) должен быть не менее чем в 10 раз меньше доминирующего периода колебаний системы для обеспечения устойчивости и минимизации запаздываний управления. Предложено новое определение скользящего режима в дискретном времени, учитывающее полосу скольжения, условие убывания функции Ляпунова и адаптивность, что позволяет снизить чэттеринг и повысить устойчивость системы.
2. Формирование квази-скользящей поверхности: Разработан подход к формированию квази-скользящей поверхности в дискретном време-

ни, основанный на разностном представлении ошибки слежения. Определены оптимальные диапазоны параметров поверхности ((λ [1.5, 5]), (Δ [0.02, 0.05])), обеспечивающие баланс между точностью слежения и устранением чэттеринга. Установлено, что использование сигмоидальной аппроксимации и сверхспирального управления способствует сглаживанию управляющего сигнала и повышению устойчивости системы.

3. Адаптивное управление с ШИМ: Предложен метод адаптивного управления, основанный на динамической корректировке коэффициента усиления (K_{adpt}) в зависимости от величины ошибки слежения. Разработан алгоритм синтеза регулятора, включающий вычисление скользящей поверхности, обновление адаптивного коэффициента и формирование ШИМ-сигнала. Показано, что введение ограничений на K_{adpt}, $K_{\min adpt}$, $K_{\max adpt}$ предотвращает перегрузку привода и обеспечивает устойчивость системы в условиях параметрических неопределенностей.
4. Моделирование и интерпретация результатов: Проведено моделирование разработанных методов в среде Simulink, включающее непрерывную, дискретную и ШИМ-модели. Установлено, что непрерывная модель демонстрирует точную сходимость, но сопровождается чэттерингом; дискретная модель обеспечивает квази-скользящий режим с минимальными колебаниями; ШИМ-модель характеризуется статической ошибкой из-за ограничений дискретного управления. Сравнительный анализ подтвердил эффективность предложенных методов в снижении чэттеринга и обеспечении высокой точности слежения.

Предложенные подходы могут быть использованы для повышения производительности и надежности систем в условиях дискретного времени, параметрических неопределенностей и переменных эксплуатационных факторов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение предложенных методов на системы с несколькими степенями свободы и интеграцию с другими адаптивными алгоритмами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудаков, Р.В., Бойков, В.И., Бушуев, А.Б., Быстров, С.В., Литвинов, Ю.В., Нуйя, О.С., & Сержантова, М.В. (2024). Адаптивное управление роботами для работы в условиях действия высоких температур.// Информационно-управляющие системы, (4), 12–23. https://doi.org/10.31799/1684-8853-2024-4-12-23
2. Drakunov, Sergey V. and Vadim I. Utkin. "On Discrete-Time Sliding Modes." IFAC Proceedings Volumes 22 (1989): 273–278.
3. A. Bartoszewicz, «Discrete-time quasi-sliding-mode control strategies,» in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 45, no. 4, pp. 633-637, Aug. 1998, doi: 10.1109/41.704892
4. Weibing Gao, Yufu Wang and A. Homaifa, «Discrete-time variable structure control systems,» in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 42, no. 2, pp. 117–122, April 1995, doi: 10.1109/41.370376.
5. S.R. Shiledar, G.M. Malwatkar, I.S. Jadhav, G.V. Lakhekar Design of discrete sliding mode controller for higher order system, RT&A, Special Issue № 1 (60) Volume 16, Janyary 2021
6. Bian, H., et al. (2019). Adaptive Sliding Mode Control for Unknown Robotic Systems. IEEE Robotics and Automation Letters, 4(2), 3457–3463.
7. Хак Б.Д., Пыркин А.А., Бобцов А.А., Ведяков А.А. Идентификация полиномиальных параметров нестационарных линейных систем. Изв. вузов. Приборостроение, 2021, т. 64, № 6, с. 459–468. DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-6-459-468
8. Zhou, X., et al. (2018). Observer-Based Adaptive Sliding Mode Control for Nonlinear Systems. Nonlinear Dynamics, 94(1), 123–137.
9. Romero J.G., Ortega, R., Bobtsov A.A. Parameter estimation and adaptive control of Euler–Lagrange systems using the power balance equation parameterisation. International Journal of Control, 2021, vol. 96, iss. 2, pp. 475–487. https://doi.org/10.1080/00207179.2021.2002935
10. Kozachek O., Nikolaev N., Slita O., Bobtsov A.A. Parameter identification algorithm for a LTV system with partially unknown state matrix. 2024, arXiv preprint arXiv:2402.13772, https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.13772
11. Нгуен Ба Хю, Фуртат Игорь Борисович, Нгуен Куанг Кыонг. Управление линейными объектами на базе наблюдателей с гарантией нахождения регулируемой переменной в заданном множестве // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2022. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-lineynymi-obektami-na-baze-nablyudateley-s-garantiey-nahozhdeniya-reguliruemoy-peremennoy-v-zadannom-mnozhestve (дата обращения: 19.04.2025).
12. Garcia, F., et al. «Linearization Techniques in Mobile Robotics», Robotics and Automation Letters, 2020.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.32

РАЗРАБОТКА ГРУППОВОЙ ПОЛИТИКИ АЛЬТ ДОМЕН НА БАЗЕ МЕХАНИЗМА CONTROL

ALT DOMAIN GROUP POLICY DEVELOPMENT BASED ON THE CONTROL MECHANISM

A. Sabirgalieva

Summary. The article focuses on centralized security management in ALT Linux operating systems using the Control mechanism and «Alt Domen» group policies. Particular attention is paid to developing a methodology for integrating Linux clients into a domain infrastructure based on Samba AD DC, as well as creating and applying ADMX templates to manage critical security parameters.

The work presents a practical example of implementing a policy that prohibits SSH login under the root account, demonstrating the effectiveness of the proposed approach. Testing was conducted in a controlled environment, confirming the correct application of policies and their compliance with information security requirements.

This research is particularly relevant in the context of import substitution, as it offers an alternative to Windows Group Policy for Russian Linux distributions. The results can be used by corporate network administrators when transitioning to domestic software solutions, as well as by developers for further improvement of centralized management mechanisms.

Keywords: OS Alt, group policies, Control, Samba AD, information security.

Сабиргалиева Айша Маратовна
ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», г. Москва
sabirgalieva2000@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена теме централизованного управления безопасностью в операционных системах ALT Linux с использованием механизма Control и групповых политик «Альт Домен». Особое внимание уделяется разработке методики интеграции Linux-клиентов в доменную инфраструктуру на базе Samba AD DC, а также созданию и применению ADMX-шаблонов для управления критически важными параметрами безопасности. В работе представлен практический пример реализации политики, запрещающей вход по SSH под учетной записью root, что демонстрирует эффективность предложенного подхода. Проведено тестирование в контролируемой среде, подтвердившее корректность применения политик и их соответствие требованиям информационной безопасности. Исследование актуально в контексте импортозамещения, поскольку предлагает альтернативу Windows Group Policy для российских дистрибутивов Linux. Результаты работы могут быть использованы администраторами корпоративных сетей при переходе на отечественное ПО, а также разработчиками для дальнейшего совершенствования механизмов централизованного управления.

Ключевые слова: ОС Альт, групповые политики, Control, Samba AD, информационная безопасность.

Введение

В современных условиях усиления требований к информационной безопасности особую значимость приобретают инструменты централизованного управления ИТ-инфраструктурой. Российские организации активно переходят на отечественное программное обеспечение, включая операционные системы, такие как ОС «Альт». Однако для их эффективного использования в корпоративных средах необходимы механизмы, обеспечивающие безопасность, единообразие настроек и удобство администрирования. Комплекс «Альт Домен» на базе Samba AD DC и механизма Control предоставляет такие возможности, позволяя администраторам управлять безопасностью и конфигурацией рабочих станций централизованно.

Материалы и методы

Исследование проводилось с использованием следующего программного обеспечения и оборудования: ALT Linux Server 10, ALT Linux Workstation 10, проведен контент-анализ документации и технических спецификаций.

Литературный обзор

Официальная документация «Альт Сервер 10» (2023) подтверждает возможность реализации полноценного контроллера домена на базе Samba AD DC. Абрамов (2023) в своих исследованиях демонстрирует расширенные возможности управления через механизм Control, позволяющий контролировать более 1100 параметров системы. Эти данные дополняются материалами ALT Linux Wiki (2023), где приведены практические примеры настройки политик безопасности.

Обзор механизма Control

В ОС Альт реализован обобщённый механизм control — фреймворк для переключения между заранее заданными конфигурациями выполнения системных задачах. Реализация конкретных переключателей задаётся скриптами в /etc/ control.d/facilities/ В контексте

«Альт Домена» утилита control используется для внедрения элементов групповых политик на Linux-клиентах. [2, с. 34] Системный администратор определяет политики через графический редактор (GPUI) или стандартные шаблоны (ADMX), после чего на клиенте при применении политик control устанавливает нужные параметры. С помощью команды control можно просмотреть текущие состояния всех «фасилитис» и допустимые варианты. Таким образом, control в «Альт Домене» служит для переключения среды Linux-клиента в нужное состояние согласно групповой политике. Это может включать разрешения на запуск определённых бинарников (через механизмы SUID/SGID), разрешения доступа к ресурсам, конфигурации сервисов и т.д. Инструмент предоставляет централизованный механизм изменения локальных настроек по единому управляемому набору. Примером интеграции является использование ADMX-шаблонов Alt, при применении которых вызываются команды control для внесения в систему предопределённых настроек.

Как устроен механизм Control

Порядок формирования и распространения групповой политики в доменной инфраструктуре «Альт Домен»

1. Инициация механизма защиты. Администратор определяет целевой компонент или сервис, подлежащий централизованному управлению, и подготавливает его конфигурацию. Файлы настройки размещаются в каталоге /etc/control.d/facilities/ После помещения конфигурации выполняется локальная проверка рабочего состояния механизма защиты [9].
2. Разработка шаблонов групповой политики. Для включения нового механизма в состав управляемых параметров изготавливаются языковые шаблоны ADMX и ADML. Файл ADMX помещается в директорию /usr/share/PolicyDefinitions/ Локализованный файл ADML — в подкаталог /usr/share/PolicyDefinitions/ru-RU/ [1, с. 120]
3. Публикация шаблонов в доменной структуре. Шаблоны переносятся в общедоменный каталог SYSVOL контроллера домена:/var/lib/samba/sysvol//Policies/PolicyDefinitions/
4. Создание объекта Group Policy (GPO) ADMC используется для определения области применения (OU, группы безопасности, сайты) и назначения прав доступа. GPUI обеспечивает выбор и конфигурирование параметров, описанных в разработанном ADMX/ADML. Итоговый объект GPO сохраняется в каталоге SYSVOL с уникальным идентификатором GPO GUID [4, с. 23]
5. Принудительная актуализация политик. На клиентских узлах запускается утилита gpupdate, средство инициирует обращение к контроллеру по стандартным портам служб AD (DNS 53/UDP-TCP, Kerberos 88/UDP-TCP, LDAP 389/TCP, SMB 445/TCP и др.) и выгружает обновлённые политики.
6. Применение политик при аутентификации. В процесс аутентификации встроен модуль

```
#!/bin/sh

. /etc/control.d/functions

CONFIG=/etc/openssh/sshd_config

new_subst enabled \
        '^PermitRootLogin[[:space:]]+yes' \
        's/^#\?\(PermitRootLogin\)[[:space:]]\+.*/\1 yes/'
new_subst disabled \
        '^PermitRootLogin[[:space:]]+no' \
        's/^#\?\(PermitRootLogin\)[[:space:]]\+.*/\1 no/'
new_subst default \
        '^#PermitRootLogin no' \
        's/^#\?\(PermitRootLogin\)[[:space:]]\+.*/#\1 no/'

new_help enabled 'Enable root authentication'
new_help disabled 'Disable root authentication'
new_help default 'Reset password authentication setting to the package default'

new_summary 'OpenSSH server PermitRootLogin configuration'

control_subst "$CONFIG" "$*"

~
~
~
~
~
~
~
~
~
"/etc/control.d/facilities/sshroot" 24L, 695B
```

Рис. 1. Политика sshroot

```
sshd-gssapi-auth enabled          (disabled enabled default)
sshd-password-auth default          (enabled disabled default)
sshd-permit-root-login enabled          (without_password enabled disabled default)
ssh-gssapi-auth enabled          (disabled enabled default)
sshroot          enabled          (enabled disabled default)
sssd-ad-gpo-access-control permissived    (disabled enforced permissived default)
sssd-ad-gpo-ignore-unreadable enabled    (disabled enabled default)
sssd-ad-update-machine-password enabled    (disabled enabled default)
sssd-cache-credentials default          (disabled enabled default)
```

Рис. 2. Вывод control

root@dc1: /usr/share/PolicyDefinitions

Файл Правка Вид Поиск Терминал Помощь

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<policyDefinitions xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" revision="1.0" schemaVersion="1.0"
xmlns="http://schemas.microsoft.com/GroupPolicy/2006/07/PolicyDefinitions">
  <policyNamespaces>
    <target prefix="control" namespace="BaseALT.Policies.sshroot" />
    <using prefix="system" namespace="BaseALT.Policies.System" />
  </policyNamespaces>
  <resources minRequiredRevision="1.0" />
  <policies>
    <policy class="Machine" displayName="$(string.sshroot)"
    explainText="$(string.sshroot_help)" key="Software\BaseALT\Policies\Control"
    name="sshroot" presentation="$(presentation.sshroot)">
      <parentCategory ref="system:ALT_Services"/>
      <supportedOn ref="system:SUPPORTED_AltP9"/>
      <elements>
        <enum id="sshroot_setter" required="true" valueName="sshroot">
          <item displayName="$(string.sshroot_enabled)">
            <value>
              <string>enabled</string>
            </value>
          </item>
          <item displayName="$(string.sshroot_disabled)">
            <value>
              <string>disabled</string>
            </value>
          </item>
        <item displayName="$(string.sshroot_default)">
            <value>
              <string>default</string>
            </value>
          </item>
        </enum>
      </elements>
    </policy>
  </policies>
</policyDefinitions>
~
~
```

Рис. 3. Xml скритт

pam_oddjobd_gpupdate.so который, взаимодействуя со службой oddjob.service, обеспечивает выполнение привилегированных операций от имени выделенного демона и гарантирует немедленное получение актуальных настроек пользователем.

Разработка групповых политик на базе механизма Control

1. Подготовка тестового окружения. Развертывание контроллера домена реализовано с использованием Samba AD DC. Далее созданы клиентские машины и реализован ввод в домен. Установка необходимых пакетов (task-auth-ad-sssd, lternator-gpupdate, admc)[5, с. 17]
2. Создание групповых политик на базе механизма Control. Создадим политику, которая будет запрещать или разрешать вход под учетной записью root по ssh на АРМ. Для начала необходимо создать файл sshroot в директории /etc/control.d/facilities. Vim /etc/control.d/facilities/sshroot.[8]

```
root@dc1: /usr/share/PolicyDefinitions
Файл  Правка  Вид  Поиск  Терминал  Помощь
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<policyDefinitionResources xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns="http://schemas.microsoft.com/GroupPolicy/2006/07/PolicyDefinitions"
revision="1.0" schemaVersion="1.0">
  <displayName>Аутентификация root по ssh</displayName>
  <description>Файл содержит параметры наспройки для файла /etc/openssh/sshd_config</description>
  <resources>
    <stringTable>
      <string id="sshroot">Аутентификация root по ssh</string>
      <string id="sshroot_help">Политика позволяет запретить или разрешить вход по ssh для учетной записи root:

Разрешить – разрешает вход пользователю root

Запретить – запрещает вход пользователю root

По умолчанию - вход пользователю root запрещен
      </string>
      <string id="sshroot_enabled">Разрешено</string>
      <string id="sshroot_disabled">Запрещено</string>
      <string id="sshroot_default">По умолчанию</string>
    </stringTable>
    <presentationTable>
      <presentation id="sshroot">
        <dropdownList noSort="true" defaultItem="0" refId="sshroot_setter">Настройка sshroot:
        </dropdownList>
      </presentation>
    </presentationTable>
  </resources>
</policyDefinitionResources>

~
~
~var/lib/samba/sysvol/test.alt/Policies/PolicyDefinitions/en-US/
~
~
~
~
~
~
~
"/usr/share/PolicyDefinitions/ru-RU/sshroot.adml" 31L, 1519B                    1,1    Весь текст
```

Рис. 4. Adml файл

```
smb-conf-usershare-owner-only enabled      (disabled enabled default)
smb-conf-usershares unknown          (disabled enabled default)
sshd-allow-groups enabled         (enabled disabled)
sshd-allow-groups-list remote          (users remote wheelonly remoteonly)
sshd-gssapi-auth enabled         (disabled enabled default)
sshd-password-auth default         (enabled disabled default)
sshd-permit-root-login disabled        (without_password enabled disabled default)
ssh-gssapi-auth enabled         (disabled enabled default)
sshroot         disabled        (enabled disabled default)
sssd-ad-gpo-access-control permissived     (disabled enforced permissived default)
sssd-ad-gpo-ignore-unreadable enabled      (disabled enabled default)
sssd-ad-update-machine-password enabled      (disabled enabled default)
sssd-cache-credentials default         (disabled enabled default)
sssd-drop-privileges unprivileged    (unprivileged privileged default)
sssd-dyndns-refresh-interval unknown       (disabled INTERVAL)
sssd-dyndns-ttl unknown         (disabled TTL)
sssd-dyndns-update unknown         (disabled enabled default)
sssd-dyndns-update-ptr unknown         (disabled enabled default)
su              wheelonly       (public wheel wheelonly restricted)
sudo            wheelonly       (public wheelonly restricted)
sudoers         strict          (strict relaxed)
sudopw          default         (default root target runas)
sudoreplay      wheelonly       (public wheelonly restricted)
sudowheel       enabled         (disabled enabled)
system-auth     sss             (krb5 krb5_ccreds ldap local multi pkcs11 sss winbind)
system-policy   gpupdate        (gpupdate local remote)
tcb_chkpwd      restricted      (traditional tcb restricted)
udisks2         default         (default shared)
virtualbox      vboxusers       (public vboxusers restricted)
wodim           public          (public restricted)
write           restricted      (public restricted)
xdg-user-dirs   enabled         (enabled disabled)
xorg-server     public          (public xgrp restricted)
[root@host-01 admsys]#
```

Рис. 5. Вывод политик

```
[root@dc1 PolicyDefinitions]# ssh root@10.0.2.11
root@10.0.2.11's password:
Last login: Sat Jun  7 13:32:44 2025 from 10.0.2.10
[root@host-01 ~]#
```

Рис. 6. Подключение по ssh

Проверяем работоспособность механизма на машине командами

control sshroot enabled
control

Создадим шаблон управления механизмом безопасности control для политики. Необходимо создать файл /usr/share/PolicyDefinitions/sshroot.admx. Это xml скрипт, который будет описывать отображения политики в GPUI.

Здесь мы определяем также 3 состояния, как в файле /etc/control.d/facilities/sshroot на клиентской машине:

1. Enabled
2. Disabled
3. Default

Далее необходимо создать файл /usr/share/PolicyDefinitions/ru-RU/sshroot.adml, который будет определять наполнение окна политики в GPUI на русском языке, а также название самого шаблона политики.

Далее необходимо скопировать созданные на сервере файлы в папку sysvol для репликации на клиентские хосты. Создаем групповую политику. Переходим в ADMC и создаем групповую политику для подразделения computers, в котором находится наш клиентский АРМ с механизмом sshroot.

Выполняем обновление групповой политики командой gpupdate

Результаты

Проверяем состояние sshroot после применения

Снова установим параметр sshroot на «Разрешено». На клиенте обновляем политику. Проверяем состояние sshroot. Пробуем подключиться по ssh под учетной записью root. На рис. 6 успешно подключились по ssh.

Обсуждение

В рамках работы реализована и протестирована практическая политика «sshroot». Политика демонстрирует запрет или разрешение входа под учётной записью root по SSH через централизованное управление. Испытания в тестовом стенде показали надёжное применение настроек: после обновления политик команда control sshroot корректно переключала состояние, а параметр PermitRootLogin в sshd_config изменялся автоматически; попытки входа, противоречащие политике, блокировались.

Заключение

Проведённое исследование продемонстрировало высокую эффективность применения механизма Control и групповых политик «Альт Домен» для централизованного управления безопасностью в корпоративных Linux-инфраструктурах. Разработанное решение успешно решает актуальную задачу обеспечения единообразия настроек безопасности и сокращения трудозатрат на администрирование разнородных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уймин, А.Г. Сетевое и системное администрирование. Демонстрационный экзамен КОД 1.1 / А.Г. Уймин. — 3-е изд., стер. — СПб.: Лань, 2022. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-9255-8. (дата обращения: 12.04.2025).
2. Абрамов А. Расширение возможностей администрирования ОС «Альт» через групповые политики // Девятнадцатая конференция разработчиков свободных программ: тезисы докладов. / Отв. ред. В.Л. Чёрный. — М.: ООО «МАКС Пресс», 2023. — С. 90–94.
3. ОС «Альт Сервер 10»: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № RU 2023615675 / ООО «Базальт СПО». — Заявка № 2023613994 от 03.03.2023. — Опубл. 16.03.2023. — Объем: 5,4 ГБ. — Язык программирования: Scheme. — eLIBRARY ID: 50428552, EDN: ANNUBZ.
4. Чудов И., Синельников Е. Управление клиентами ОС «Альт» в рамках единой инфраструктуры домена Active Directory // Системный администратор. 2020. № 12 (217). С. 49–50. ISSN 1813-5579.
5. «Альт Рабочая станция» 10.1 Руководство пользователя [Электронный ресурс]. URL: https://docs.altlinux.org/ru-RU/alt-workstation/10. 1/html/alt-workstation/index.html. (дата обращения: 11.04.2025).
6. «Альт Сервер» 10.1 Руководство пользователя [Электронный ре сурс].URL:https://docs.altlinux.org/ru-RU/alt-server/10.1/html/alt-server/index.html. (дата обращения: 04.04.2025).
7. ALT Linux Wiki: ADMC [Электронный ресурс]. URL: https://www.altlinux.org/ADMC. (дата обращения: 05.05.2025).
8. ALT Linux Wiki. «PlatformTen» (раздел о расширении набора групповых политик). URL: https://en.altlinux.org/PlatformTen (дата обращения: 09.06.2025). (дата обращения: 05.05.2025).
9. Microsoft Learn: [веб-сайт]. URL: https://learn.microsoft.com (дата обращения: 05.05.2025).

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.34

ПОДХОД ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МАШИННОГО ПЕРЕВОДА МЕЖДУ РУССКИМ И АРАБСКИМ ЯЗЫКАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОЯЗЫЧНОЙ ОНТОЛОГИИ СОВМЕСТНО С МЕТАГРАФАМИ

AN APPROACH TO IMPROVE THE QUALITY OF MACHINE TRANSLATION BETWEEN RUSSIAN AND ARABIC USING A MULTILINGUAL ONTOLOGY TOGETHER WITH METAGRAPHS

L. Saqqour
Yu. Gapanyuk
G. Afanasyev

Summary. This paper presents a conceptual architecture that integrates multilingual ontologies and metagraph-based semantic modeling into neural machine translation systems. The proposed approach aims to enhance translation accuracy between structurally divergent language pairs, such as Russian and Arabic, by addressing lexical ambiguity, cultural nuances, and domain-specific terminology. A key innovation lies in using a semantically annotated metagraph as an intermediate representation, which supports deeper context modeling and improves alignment between source and target texts. The architecture includes stages for corpus annotation, ontology alignment (using SUMO and BabelNet), metagraph construction, and integration with Transformer-based translation models. Although the system is currently in the design and prototyping phase, the theoretical analysis and modular framework offer a promising direction for building more interpretable and semantically aware translation systems.

Keywords: machine translation, metagraph, multilingual ontology, semantic annotation, Russian-Arabic translation, semantic modeling.

Саккур Лама
Аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)
lama.saqqour@gmail.com
Гапанюк Юрий Евгеньевич
К.т.н., доцент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)
sfm2007@yandex.ru
Афанасьев Геннадий Иванович
К.т.н., доцент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)
gaipcs@bmstu.ru

Аннотация. В статье представлена концептуальная архитектура, объединяющая многоязычные онтологии и семантическое моделирование на основе метаграфов в рамках нейросетевого машинного перевода. Предложенный подход направлен на повышение точности перевода между языками с высокой структурной разницей, такими как русский и арабский. Он позволяет учитывать омонимию, культурные особенности и профессиональную терминологию. Ключевая инновация заключается в использовании семантически аннотированного метаграфа в качестве промежуточного представления, что способствует более глубокому моделированию контекста и улучшению соответствия между исходным и целевым текстом. Архитектура включает этапы аннотирования корпуса, онтологического сопоставления (на базе SUMO и BabelNet), построения метаграфа и интеграции с моделью перевода на архитектуре Transformer. Несмотря на текущий этап проектирования, проведённый теоретический анализ подтверждает потенциал предложенного подхода для создания более интерпретируемых и семантически точных систем перевода.

Ключевые слова: машинный перевод, метаграф, многоязычная онтология, семантическая аннотация, перевод с русского на арабский, семантическое моделирование.

Введение

В современном глобализированном мире перевод между языками играет ключевую роль в обеспечении эффективной коммуникации, будь то в бизнесе, образовании или повседневной жизни. Несмотря на значительные достижения в области нейросетей машинного перевода, перевод между языками с различной структурой, такими как русский и арабский, всё ещё вызывает серьёзные трудности [9], [10].

Арабский язык, будучи семитским по происхождению, характеризуется корневой морфологией, где один корень может создавать десятки словоформ в зависимости от модели и контекста употребления. Отсутствие огласовок в письменной речи делает автоматическое

определение смысла слова крайне затруднительным для систем машинного перевода [8]. Русский язык, в свою очередь, имеет богатую словоизменительную систему, а свободный порядок слов в предложении также затрудняет автоматический анализ [5].

Дополнительной сложностью является культурная дистанция между языками. Оба языка обладают уникальной идиоматикой, пословицами и терминологией, которые не имеют прямых эквивалентов. В результате машинный перевод часто представляет собой ограниченные: выдают синтаксически правильный, но семантически и культурно неполноценный результат.

В данной статье предлагается решение данной проблемы через внедрение промежуточного семантического слоя в виде многоязычных онтологий и метаграфа. Такая структура позволяет моделировать понятия и их связи независимо от конкретного языка, способствуя более глубокому смысловому соответствию при переводе.

Обзор литературы и технологий

Машинный перевод прошёл несколько стадий эволюции, каждая из которых базировалась на различных языках и определённые принципы обработки языка и данных. В зависимости от используемой методики данный вид технологии можно разделить на следующие основные тип систем:

1. Системы, основанные на правилах (RBMT)

Первые системы машинного перевода строились на вручную прописанных грамматических и лексических правилах. Они использовали морфологический, синтаксический и семантический анализ исходного и целевого языков. Такие решения отличались хорошей интерпретируемостью и высокой точностью в узкой предметной области, но плохо масштабировались, требовали больших трудозатрат и зависели от полноты словаря.

2. Статистические системы (SMT)

В 1990-х годах появились статистические подходы, использующие параллельные тексты для расчёта вероятностей перевода слов и фраз. Не смотря на успехи, модели SMT плохо работали на языках со сложной морфологией или свободным порядком слов, например, русском или арабском. Кроме того, они часто ошибаются в случае лексической неоднозначности.

3. Нейросетевые системы (NMT)

Современные системы машинного перевода в основном используют глубокое обучение. NMT позволяет учитывать контекст всего предложения, а не только отдельных слов, поэтому качество перевода существенно возрастает. Однако такие системы требуют больших объёмов параллельных данных и часто страдают от недостаточной интерпретируемости. Особенно это проявляется при переводе между лингвистически далекими языками, когда точность семантического соответствия снижается.

4. Гибридные системы

В попытке объединить сильные стороны предыдущих подходов появились гибридные системы, которые комбинируют нейросетевые модели с дополнительными алгоритмами или знаниями. Например:

- Яндекс.Переводчик использует гибридный подход, сочетая нейросетевой движок с алгоритмами машинного обучения на основе градиентного бустинга (CatBoost), что позволяет учитывать частотные закономерности и улучшать обработку редких слов и фраз [4].
- Systran — один из старейших игроков в области машинного перевода, и в последние годы они внедрили гибридную нейросетевую архитектуру, которая объединяет: NMT (Neural Machine Translation), лингвистические ресурсы, включая морфологические правила и словари, постредактирование на основе правил, что особенно важно для корпоративных клиентов, для повышения качества перевода в технических и юридических текстах [15].
- ABBYY Compreno Translator — одна из немногих коммерческих систем, использующих онтологически обоснованный синтаксико-семантический анализ на уровне смысловых графов. В отличие от статистических или классических правил-ориентированных подходов, система реализует интерлингвальную модель: исходный текст преобразуется в нейтральное концептуальное представление на основе онтологий и логических связей между концептами. На следующем этапе осуществляется обратное порождение (generation) текста на целевом языке, уже на основе этой абстрактной смысловой структуры. Такой подход обеспечивает высокую точность перевода, особенно в терминологически насыщенных и специализированных областях [11].

Эти примеры, которые демонстрируют, как гибридные подходы могут помочь нам преодолеть вышеуказанные ограничения. Важным элементом является то, что в таких систем можно подключать онтологий и графов знаний, тем самым добавляя смысл, который невозможно выразить, используя просто последовательность слов.

5. Место предлагаемого подхода

Настоящее исследование продолжает развитие гибридных систем, предлагая интеграцию нейросетевого

перевода с многоязычной онтологией, представленной в виде метаграфа. В отличие от традиционных деревообразных структур, метаграф позволяет учитывать более сложные связи между концептами, включая перекрёстные контекстуальные зависимости. Такое решение направлено на устранение семантической неоднозначности и повышение точности перевода между русским и арабским языками, особенно в условиях дефицита качественных параллельных корпусов.

Методология

Для преодоления ограничений традиционных систем машинного перевода, особенно в условиях языков с высокой структурной и культурной неоднородностью, таких как арабский и русский, в данной работе предлагается гибридный подход. Он предполагает внедрение семантического промежуточного слоя между исходным предложением и нейросетевым механизмом перевода. Этот слой реализуется с использованием иерархической аннотируемой метаграфовой модели, которая агрегирует данные из двух онтологий — BabelNet и SUMO — и позволяет формализовать значение предложения в виде абстрактных концептов и отношений.

А. Архитектура предлагаемой системы

Общий алгоритм работы системы включает следующие этапы:

1. Анализ исходного предложения: Предложение подаётся на вход системе, где проходит предварительный лингвистический анализ (токенизация, POS-теггинг и лемматизация).
2. Параллельный запрос к онтологиям: Концепты извлекаются из двух многоязычных онтологий. Эти онтологии служат источниками базовых семантических единиц и отношений.
3. Построение метаграфа: используя аннотированную модель метаграфа [1, 2], понятия из двух онтологий объединяются в иерархически структурированный граф, где вершины, мета-вершины и мета-эджы задают атрибуты (лексические, синтаксические, семантические), связи между понятиями моделируют процессы и отношения внутри предложения.
4. Активация агентов метаграфа: агенты функций трансформируют графы на основе абстрактных функций, и агенты правил применяют эвристики для устранения неоднозначности и генерации недостающих связей.
5. Подача семантического представления в нейросетевую модель перевода: после трансформации смыслового графа, его абстрактная форма используется как дополнительный входной сигнал для нейросетевой архитектуры (например, вектор внимания или эмбеддинги семантических ролей). Это позволяет нейросети учитывать не только линейный контекст, но и иерархическую семантику, улучшая интерпретацию сложных структур.

Б. Выбор онтологий и построение метаграфа

Чтобы добиться качественного перевода между арабским и русским языками, особенно в части передачи смысла, важно использовать подходящие онтологии — то есть структуры, описывающие значения и взаимосвязи понятий. В данной работе были выбрали две такие онтологии: BabelNet и SUMO.

BabelNet [3] — это обширная многоязычная лексическая база, которая помогает учитывать не только словарные значения, но и устойчивые выражения, а также культурные особенности речи. SUMO [14], в свою очередь, ориентирована на строгую логическую структуру понятий и формализованные связи между ними. Она помогает описывать смысл высказываний с точки зрения абстрактных категорий и логических отношений [12, 13].

Далее извлечённые из этих двух онтологий концепты объединяются в метаграф — особую структуру, которая позволяет представить смысл предложения с учётом и словарных, и концептуальных связей. Была использована модель метаграфа, основанную на подходе [1,2], которая позволяет точно учитывать контекст и неоднозначности благодаря использованию специальных агентов преобразования. Такой метаграф становится промежуточным смысловым представлением, которое затем передаётся в нейросетевую модель перевода. Это позволяет существенно повысить точность перевода и сохранить важные культурные и контекстуальные нюансы оригинального текста.

В. Создание метаграфа

На этом этапе формализуется исходный текст в виде графа, который можно аннотировать. Концепции, полученные из онтологий BabelNet и SUMO, будут собраны в организованную иерархию. Узлы графа представляют конкретные и абстрактные понятия, а ребра показывают, как они связаны между собой.

Модель включает специальные вершины и ребра, которые помогают описывать более сложные отношения, такие как причинно-следственные связи, квантификация и другие. Каждому элементу графа добавляются аннотации, которые уточняют его роль в структуре сообщения.

Такой подход помогает создать ясное смысловое пространство, в котором видно как поверхностное значение слов, так и глубокие связи между концепциями. Этот метаграф станет основой для следующего шага — активации агентов.

Г. Активация агентов метаграфа

После того как метаграф построен и аннотирован, в работу вступают агенты, отвечающие за его «оживление» — уточнение и преобразование смысловых структур. В рамках предлагаемой системы используются два типа агентов: функциональные (agF) и правила-агенты (agR) [2].

Функциональные агенты отвечают за более гибкие, абстрактные изменения структуры. Они могут, например, обобщать понятия, перестраивать синтаксис или адаптировать выражения под нужный контекст. Если в исходном языке встречается двусмысленное выражение, такой агент может заменить его на более универсальное понятие, которое легче корректно передать на языке назначения [6, 7].

Правила-агенты работают по заранее заданным правилам — как универсальным, так и специфическим для конкретной культуры или языка. Они помогают уточнить значения, разрешить омонимию, адаптировать идиомы и сохранить прагматический оттенок высказываний. Модель поддерживает повторное использование одних и тех же элементов в разных контекстах, что делает её особенно гибкой.

Вместе эти два типа агентов превращают метаграф в активную структуру, где данные и логика тесно связаны. Это даёт системе необходимую адаптивность — она может учитывать не только формальную структуру текста, но и особенности реального речевого общения.

Итоговый активный метаграф затем передаётся на вход нейросетевой модели, где и происходит окончательное преобразование на целевой язык. Таким образом, агенты играют роль мостика между глубокой смысловой интерпретацией текста и статистическими механизмами перевода, обеспечивая при этом более точную и культурно релевантную передачу смысла.

Д. Подача семантического представления в нейросетевую модель перевода

На заключительном этапе активный метаграф превращается в структурированное семантическое представление, пригодное для обработки нейросетью. В отличие от обычных моделей, которые работают просто с последовательностью слов, наша нейросеть получает многослойную структуру, включающую:

- концепты и связи между ними, полученные из онтологий;
- контекстные аннотации от агентов;
- информацию об иерархии и типах отношений (например, род–вид, часть–целое и т.д.);
- культурные метки и прагматические функции выражений.

Благодаря этому подходу нейросеть не теряет важную смысловую информацию, как это часто бывает при работе только на уровне слов. Каждый элемент метаграфа представлен в виде вложения (embedding) с добавленными метками, отражающими его позицию, тип и контекст. Такая подача совместима с архитектурой Transformer.

Пример: если фраза содержит омонимы или идиомы, после обработки онтологиями и агентами она превращается в набор концептов с чётко определёнными связями и метками. Это помогает нейросети «понять» не просто слова, а то, что они значат в конкретном контексте, что особенно важно при работе с языками, где одна и та же форма может иметь множество значений — как, например, в арабском или русском.

В итоге нейросетевая модель здесь выступает не просто как «переводчик», а как интерпретатор уже осмысленного содержания. Такой подход повышает точность передачи значений, снижает вероятность смысловых искажений и помогает учитывать культурные особенности оригинального текста.

Реализация и экспериментальная установка

На текущем этапе реализация системы находится в стадии концептуального проектирования и подготовки экспериментальной базы. Основные компоненты архитектуры определены и описаны, а логика взаимодействия между модулями — формализована. Ниже представлены ключевые этапы, заложенные в структуру реализации.

1. Сбор и аннотирование корпуса

Планируется формирование параллельного корпуса предложений на русском и арабском языках, охватывающего как общеупотребительную лексику, так и доменные тексты с выраженной терминологической нагрузкой. Аннотирование предполагает выделение концептов, синтаксических ролей, прагматических маркеров и культурно-специфических элементов.

2. Онтологическое сопоставление: интеграция SUMO и BabelNet

Ключевым этапом является сопряжение двух онтологий — BabelNet, ориентированной на лексико-семантические связи, и SUMO, предлагающей формализованную логическую структуру понятий. Для обеспечения согласованности между этими онтологиями реализуется модуль онтологического сопоставления, в котором:

- BabelNet используется для извлечения лексических единиц, синонимических рядов и межъязыковых соответствий;

- SUMO — для идентификации логических и категориальных отношений между концептами, таких как агентивность, атрибутивность, причинность;
- Формируется таблица сопоставления (alignment), связывающая synset'ы BabelNet с концептами SUMO через промежуточные онтологические маркеры, включая части речи, роли и типы сущностей.

3. Построение метаграфа

На основе онтологически сопоставленных концептов формируется аннотируемый метаграф, согласно модели [7]. Реализация включает:

- Создание графовой структуры с иерархией узлов и связей;
- Назначение каждому элементу метаграфа атрибутов: онтологического типа (из SUMO), лексической формы (из BabelNet), синтаксической функции и контекста;
- Добавление мета-связей, отражающих абстрактные отношения (например, логические зависимости, антецеденты, модальность).

4. Интеграция с нейросетевой моделью машинного перевода

Готовый метаграф используется как семантический «мост» между оригинальным текстом и системой машинного перевода. Он позволяет не просто передавать слова, а транслировать смысл. Есть два способа, как его можно встроить в работу нейросети:

- На этапе энкодера — граф преобразуется в векторы признаков (embeddings), которые подаются в модель вместе с текстом и дополняют позиционную информацию;
- На этапе декодера — концепты из метаграфа помогают выбрать наиболее подходящие варианты перевода среди предложенных моделью (так называемый reranking).

Для реализации этой части можно использовать существующие открытые платформы, такие как OpenNMT, Marian NMT или Fairseq, с незначительными изменениями в коде, чтобы они могли обрабатывать структурированные входные данные.

5. Оценка качества перевода

Когда система будет реализована, её работу планируется оценивать как автоматически, так и с участием экспертов. Используются следующие подходы:

- BLEU — метрика, которая измеряет совпадения между машинным и эталонным переводом;
- TER (Translation Edit Rate) — показывает, сколько правок нужно внести в перевод, чтобы он стал точным;
- Экспертная оценка — когда носители языка или специалисты проверяют, насколько хорошо переданы смысл, стиль и культурные особенности оригинального текста.

Такой комплексный подход позволит оценить не только техническую точность перевода, но и его качество с точки зрения восприятия и адекватности.

Результаты и обсуждение

Результаты логического проектирования системы позволяют сделать обоснованные выводы о её потенциале для решения рассматриваемой задачи. Предлагаемый подход — интеграция онтологически аннотированного метаграфа в нейросетевую модель перевода — открывает возможности для повышения семантической точности. Предлагаемый подход — интеграция онтологически аннотированного метаграфа в нейросетевую модель перевода — открывает возможности для повышения семантической точности.

Использование метаграфа в качестве промежуточного семантического представления даёт ряд важных преимуществ:

- Повышение согласованности перевода за счёт устранения омонимии и неоднозначностей на этапе семантического анализа;
- Улучшение обработки терминологии и идиоматических выражений благодаря онтологической нормализации концептов;
- Снижение потерь при передаче контекста и прагматических значений оригинального текста;
- Повышение адаптивности перевода при смене доменов за счёт модульной структуры агентов.

Кроме того, использование многоязычных онтологий (BabelNet, SUMO) позволяет расширить охват языковых конструкций и учесть культурно-специфические особенности.

На следующем этапе планируется перейти к практической части — провести серию экспериментов с параллельным корпусом и оценить качество перевода с помощью как автоматических метрик (BLEU, TER), так и экспертных оценок. Это позволит количественно проверить гипотезу о преимуществах предложенной гибридной архитектуры, сочетающей нейросетевой и онтологический подходы.

Заключение

В данной работе был предложен подход к машинному переводу с русского на арабский язык, который опирается на многоязычные онтологии и аннотируемые метаграфы. Такая интеграция позволяет не просто пере-

водить текст, а глубже понимать его смысл. Благодаря объединению данных из BabelNet и SUMO удаётся создать структурированное семантическое представление высказывания — своего рода «каркас смысла», в котором отражены ключевые понятия, связи между ними, а также контекстуальные и культурные особенности.

Когда это представление подаётся в нейросетевую модель, перевод становится не только точнее, но и ближе к оригинальному замыслу. Термины передаются корректнее, снижается риск двусмысленности, а культурно значимые выражения интерпретируются более адекватно.

Таким образом, метаграф на основе онтологий становится важным мостом между знаниями о языке и современными технологиями перевода. Это делает перевод более осмысленным, гибким и устойчивым к типичным ошибкам, что особенно важно при работе с языками с разной грамматикой, логикой и культурным фоном.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белянова М.А., Ревунков Г.И., Афанасьев Г.И., Гапанюк Ю.Е. Автоматическая генерация вопросов на основе текстов и графов знаний // Динамика сложных систем — XXI век. 2020. Т. 14. № 4. С. 55–64.
2. Гапанюк Ю.Е. Метаграф как основа моделирования релевантного медиадискурса // Science Journal of VolSU. Linguistics. 2024. Т. 23. № 5. doi: https://doi.org/10.15688/jvolsu2.2024.5.2
3. BabelNet. The largest multilingual encyclopedic dictionary and semantic network. [Electronic resource]. URL: https://babelnet.org/ (date of access 30.04.2025).
4. CatBoost is a high-performance open-source library for gradient boosting on decision trees. [Electronic resource] // Yandex CatBoost. URL: https://catboost.ai/news/catboost-enables-fast-gradient-boosting-on-decision-trees-using-gpus (date of access 30.04.2025).
5. Corbett G.G. Gender and case in Russian // Journal of Linguistics. 1992. Vol. 28. No. 1. P. 113–138.
6. Gapanyuk Y.E. Metagraph Approach to the Information-Analytical Systems Development // CEUR Workshop Proceedings. 2019. Vol. 2514. P. 428–438.
7. Gapanyuk Y.E. The Metagraph Multiagent System Based on the Semantic Complex Event Processing // Procedia Computer Science. 2020. Vol. 169. P. 248–253.
8. Habash M. Introduction to Arabic Natural Language Processing // Synthesis Lectures on Human Language Technologies. 2010. Vol. 3. No. 1. P. 1–187.
9. Jurafsky D., Martin J.H. Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2021.
10. Katz J.S., Bever T.J. The linguistic structure of text and its implications for translation // Linguistics and Philosophy. 2019. Vol. 1. No. 3. P. 238–256.
11. Manicheva E., Petrova M., Kozlova E., Popova T. The Compreno Semantic Model as Integral Framework for Multilingual Lexical Database // Proceedings of the 3rd Workshop on Cognitive Aspects of the Lexicon. Mumbai, India: The COLING 2012 Organizing Committee, 2012. P. 215–230.
12. Navigli R., Ponzetto S.P. BabelNet: The automatic construction, evaluation, and application of a wide-coverage multilingual semantic network // Artificial Intelligence. 2012. Vol. 193. P. 217–250.
13. Pease A., Niles I. The Suggested Upper Merged Ontology: A large ontology for the semantic web and its applications // Proceedings of the AAAI Workshop on Ontologies and the Semantic Web. Edmonton, AB, Canada, 2002. P. 39–48.
14. SUMO: Suggested Upper Merged Ontology. [Electronic resource]. URL: https://www.ontologyportal.org/ (accessed: 30.04.2025).
15. Systran as a multilingual machine system / Toma P. // CEC. 1977. P. 569–581.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.36

АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ANALYZING THE SAFETY OF AN EDUCATIONAL ORGANIZATION USING COGNITIVE MODELING METHODS

A. Soskovets

Summary. The article examines the features of using cognitive modeling to analyze the safety of an educational organization in modern realities and identify factors that have a decisive impact on it. To carry out experimental calculations, we used the results of a sociological survey obtained during a survey of students at Omsk State Technical University, which concerned the assessment of the risks of extremism and its development in modern society.

Keywords: educational organization, cognitive modeling, factors, risks, threats, extremism.

Сосковец Альберт Владимирович
Аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет»
avsoskovets@omgtu.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности использования когнитивного моделирования для анализа безопасности образовательной организации в современных реалиях и определения факторов, оказывающих решающее воздействие на нее. Для проведения экспериментальных расчетов использовались результаты социологического опроса, полученные в ходе опроса студентов в Омском государственном техническом университете, которые касались оценки рисков экстремизма и его развития в современном обществе.

Ключевые слова: образовательная организация, когнитивное моделирование, факторы, риски, угрозы, экстремизм.

Современная образовательная среда претерпевает значительные трансформации под влиянием глобальных изменений. В условиях стремительной цифровизации и социально-экономических преобразований перед образовательными организациями встают новые вызовы, требующие системного анализа и комплексных решений. Особую значимость приобретает вопрос обеспечения безопасности учебных заведений как основы для устойчивого развития образовательного процесса [1].

Ключевые факторы, определяющие современные требования к безопасности образовательных организаций, включают:

- Интенсивное внедрение цифровых технологий и связанные с этим кибер-риски
- Изменение социальных норм и поведенческих паттернов среди обучающихся
- Возрастающие требования к психологической безопасности образовательной среды
- Необходимость адаптации инфраструктуры к новым санитарно-эпидемиологическим стандартам
- Важность обеспечения равных возможностей для всех участников образовательного процесса

Для эффективного анализа этих многомерных проблем требуется применение современных аналитических методов. Когнитивное моделирование представляет собой перспективный инструмент, позволяющий:

1. Систематизировать разнородные факторы безопасности
2. Выявлять скрытые взаимосвязи между различными аспектами образовательной среды
3. Прогнозировать развитие потенциально опасных ситуаций
4. Оценивать эффективность профилактических мер
5. Оптимизировать управленческие решения в области безопасности

Именно эти методологические возможности делают когнитивное моделирование наиболее адекватным инструментом для решения сложных задач обеспечения безопасности в современной образовательной среде, что и определило выбор тематики настоящего исследования [2].

Вопросы, связанные с анализом внешней и внутренней среды учреждений системы образования, рассматривают в своих публикациях Ковалева Т.В., Карловская Е.А., Долгорукова И.В., Фомичева Т.В., Леонтьева Т.В., Корсаков Г.О., Куклина Л.В., Баранова Н.В.

Над разработкой методического подхода к моделированию обеспечения экономической безопасности различных предприятий и организаций, объектов критической инфраструктуры с использованием когнитивного подхода трудятся Петренко С.В., Калиниченко А.И., Качан Д.А., Вишняков В.А., Мамаев И.И., David Vernon, Josefine Albert, Michael Beetz, Shiau-Chuen Chiou.

В условиях повышенной нестабильности современной образовательной среды особую актуальность приобретает проблема обеспечения всесторонней безопасности учебных заведений. Это обуславливает необходимость создания научно обоснованных методик, позволяющих анализировать и прогнозировать потенциальные риски с использованием методов когнитивного моделирования. Особое внимание в данном исследовании уделяется усовершенствованию инструментария для точного измерения взаимозависимостей между компонентами когнитивных моделей системы безопасности.

Основная цель научного исследования заключается в разработке и апробации многоуровневой методики когнитивного моделирования системы безопасности образовательного учреждения, учитывающей современные вызовы и угрозы.

Методологическая основа исследования представляет собой последовательную многоэтапную процедуру, реализованную в рамках системного подхода. Первоначальный этап предполагает проведение комплексного ситуационного анализа, в ходе которого осуществляется SWOT-анализ текущего состояния безопасности образовательной организации. Это позволяет системно выявить и провести ранжирование потенциальных угроз, сформировать исчерпывающий перечень значимых факторов влияния, а также определить ключевые показатели безопасности, которые будут выступать индикаторами эффективности системы.

На следующем этапе осуществляется разработка когнитивной карты, включающая несколько взаимосвязанных процедур. Особое внимание уделяется классификации факторов, среди которых выделяются: базовые (инфраструктурные, кадровые и технологические аспекты), управляющие (организационные и нормативные компоненты) и целевые (конечные показатели безопасности). После структуризации факторов производится установление направлений и характера взаимосвязей между ними, что находит свое отражение в визуализации причинно-следственных отношений.

Процедура построения формализованной модели предполагает последовательное выполнение ряда операций. Изначально конструируется взвешенный орграф, для которого определяются весовые коэффициенты связей между элементами системы. Затем разрабатывается матрица смежности, отражающая структуру взаимозависимостей. Завершающим шагом данного этапа является всесторонняя проверка модели, включающая оценку адекватности через экспертную валидацию, анализ устойчивости посредством исследования чувствительности системы, а также проверку сбалансированности для выявления возможных противоречий.

Особое значение в методологии занимает этап сценарного прогнозирования, который реализуется через несколько взаимодополняющих процедур. Изначально разрабатывается нормативный сценарий, отражающий желаемое состояние системы. Параллельно формируются кризисные сценарии, позволяющие оценить поведение системы в экстремальных условиях. Важным компонентом является определение пороговых значений ключевых факторов и последующий анализ точек бифуркации системы, что позволяет выявить критические моменты в ее функционировании.

Заключительный этап методологии ориентирован на разработку практических решений и включает четыре основных направления работы. Во-первых, формируется система превентивных мер, направленных на минимизацию потенциальных угроз. Во-вторых, проводится оптимизация ресурсного обеспечения системы безопасности. В-третьих, создаются алгоритмы оперативного реагирования на возникающие угрозы. И наконец, разрабатывается система показателей эффективности, позволяющая осуществлять мониторинг и оценку функционирования системы безопасности в динамике.

Эмпирическую базу исследования составил опрос 1366 студентов Омского государственного технического университета (ноябрь–декабрь 2023 г.). В выборке преобладали респонденты 18–23 лет (94 %), гендерное распределение — 55,7 % мужчин и 44,3 % женщин. Полученные данные позволили выявить ключевые факторы безопасности, которые легли в основу когнитивной модели, представленной в виде взвешенного графа с учетом взаимовлияния элементов системы. Когда вершины графа не имеют весов, то дуги взвешиваются знаком. Если, при увеличении значения фактора (вершины) дуга приводит к росту значения фактора, тогда дуга имеет положительный знак («+»), в противоположном случае — отрицательный («–») [3]. Согласно теоретическому представлению граф описывается кортежем когнитивной модели:

$$\left(V, W_{ij}, E, W_E, Pr\right)$$

где $V = \{v_i\}$ — множество элементов системы (вершины графа);

W_{ij} — множество весов вершин, нечеткое причинно-следственное отношение на множестве V;

E — множество дуг;

$W_E = \{\varepsilon_{ij}\}$ — множество весов дуг;

Pr — множество правил изменения параметров в вершинах.

Анализ формализованных в процессе социологического опроса ответов нашел свое отражение в виде орграфа моделирования влияния рисков и угроз экстремизма на безопасность образовательной организации на рис. 1.

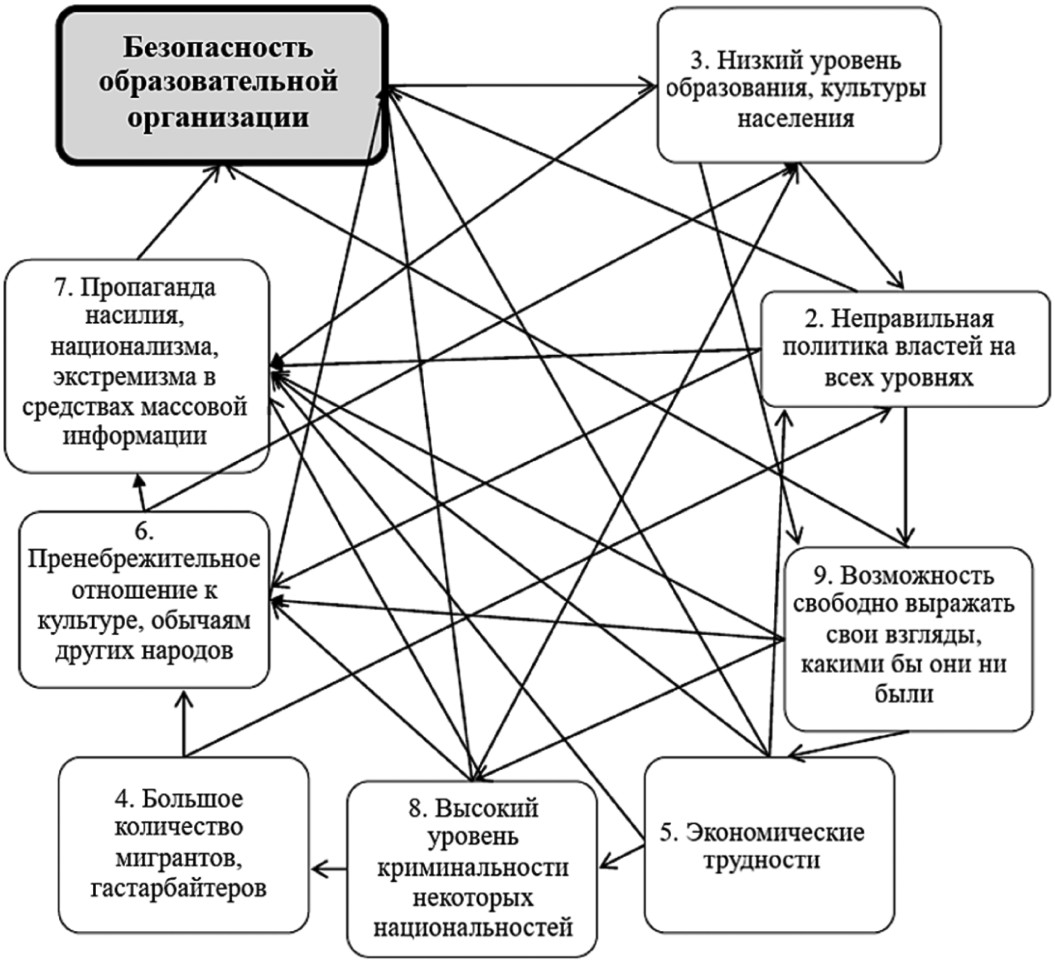


Рис. 1 Орграф когнитивной модели влияния взаимодействия показателей обуславливающих влияние угроз и рисков экстремизма на безопасность образовательной организации

Когнитивная карта кроме графического изображения может быть представлена матрицей отношений или смежности $C = \|c_{ij}\|_{n \times n}$, которая является реализацией сформированного орграфа в соответствии со следующим условием:

$$sgn(u_j, u_i) = \begin{cases} 1, \text{если ребо}(u_j, u_i)\text{положительное} \\ -1, \text{если ребо}(u_j, u_i)\text{отрицательное} \\ 0, \text{если ребо}(u_j, u_i)\text{отсутствует} \end{cases}$$

Матрица смежности служит математическим представлением структуры графа, где вершины отображаются в виде квадратной таблицы с соответствующими строками и столбцами. На пересечении строк и столбцов проставляются числовые значения, отражающие характер связей между элементами системы: положительные взаимосвязи обозначаются «+1», отрицательные «-1», а отсутствие связи — «0» [4].

Для анализа сбалансированности когнитивной модели применяется специальный метрический показатель — коэффициент относительного баланса $B(K)$. Этот коэффициент рассчитывается как отношение количества положительных контуров к общему числу контуров в ориентированном графе при условии $B(K) \in [0;1]$. Значение $B(K)=1$, свидетельствует о полной сбалансированности системы, когда все контуры имеют положительный характер. Значение показателя $B(K)=0$ указывает на абсолютную несбалансированность модели, при которой все контуры отрицательны. Промежуточные значения коэффициента в диапазоне от 0 до 1 позволяют количественно оценить степень сбалансированности системы и выявить потенциальные противоречия в структуре взаимосвязей [5].

Такой математический аппарат обеспечивает объективную оценку согласованности когнитивной модели, позволяя исследователям анализировать устойчивость системы и принимать обоснованные решения о необходимости ее корректировки для достижения большей внутренней гармоничности.

Мера относительного баланса $B(K)$ определяется с учетом длины контуров:

$$B(K) = \frac{\sum_{k=3}^{c} \frac{1}{k} p_k}{\sum_{k=3}^{c} \frac{1}{k} t_k}$$

где p_k — количество положительных циклов длины;

t_k — общее количество циклов длины.

Как известно, динамический анализ нечетких величин может быть обозначен не только связями, но и факторами. Для нечетких когнитивных карт используется следующая модификация модели импульсного процесса:

$$v_i(t+1) = \\ = S\left(v_i(t) + q_i(t+1) + o_i(t+1) + \sum_{i=1}^{k} T\left(w_{ij}, p_j(t)\right) \right)$$

где $v_i(t)$ — значение i-го фактора в момент времени t;

$q_i(t+1)$ — внешнее воздействие на i-й фактор в момент времени (t+1);

$o_i(t+1)$— управляющее воздействие на i-й фактор в момент (t+1);

w_{ij} — интенсивность влияния между факторами;

$p_j(t)$— изменение значения в момент времени t (импульс);

T — операция T-нормы;

S — операция S-нормы (используется S-норма Лукасевича).

Процесс генерации альтернативных решений предполагает предварительное определение исходных параметров ключевых факторов и градацию силы управляющих воздействий (слабые, умеренные, сильные и др.). Сформированные альтернативные варианты затем применяются для оптимизации конечных показателей, при этом вектор управляющих воздействий разрабатывается в соответствии с подготовленными сценарными моделями [6].

Проведенные расчеты значений обобщенных контуров обратной связи для факторов, влияющих на безопасность образовательной организации в условиях роста экстремистских угроз, продемонстрировали превышение порогового уровня (значения > 1). Это потребовало проведения процедуры нормализации матрицы, в ходе которой масштаб исходных данных был скорректирован для обеспечения сопоставимости результатов. Итоговые данные нормализованной матрицы приведены в таблице 1.

Полученные в результате расчетов значения обобщенных коэффициентов обратной связи отображены на рис. 2.

Результаты проведенного моделирования рис. 2 демонстрируют выраженную дестабилизирующую природу всех анализируемых факторов системы, что свидетельствует об их высокой чувствительности к внешним и внутренним возмущениям. Максимальный показатель чувствительности наблюдается у фактора «Пропаганда насилия», что подтверждает его ключевую роль в дестабилизации системы. Полученные данные указывают на бифуркационный характер системы, где любые флук-

Таблица 1.

Нормализованные результаты расчетов когнитивной модели развития угроз безопасности образовательной организации, связанных с экстремизмом

Фактор	Низкий уровень образования	Пропаганда насилия	Неправильная политик властей	Пренебрежительное отношение к культуре и обычаям	Возможность свободно выражать свои взгляды	Большое количество мигрантов	Высокий уровень криминальности	Экономические трудности
Низкий уровень образования	0	0,10	0,08	–0,08	–0,09	–0,10	–0,02	0,08
Пропаганда насилия	0,10	0	0,08	–0,09	–0,08	–0,08	–0,03	0,07
Неправильная политик властей	0,14	0,14	0	0,30	–0,05	–0,02	0,26	0,08
Пренебрежительное отношение к культуре и обычаям	0,36	0,37	0,06	0	–0,18	–0,21	0,15	0,29
Возможность свободно выражать свои взгляды	–0,09	–0,10	–0,07	0,14	0	0,12	0,03	–0,02
Большое количество мигрантов	–0,04	–0,04	–0,03	0,19	0,04	0	0,04	0,01
Высокий уровень криминальности	0,09	0,09	0,15	0,04	–0,03	–0,02	0	0,12
Экономические трудности	0,23	0,24	0,09	–0,05	–0,14	–0,20	0,04	0

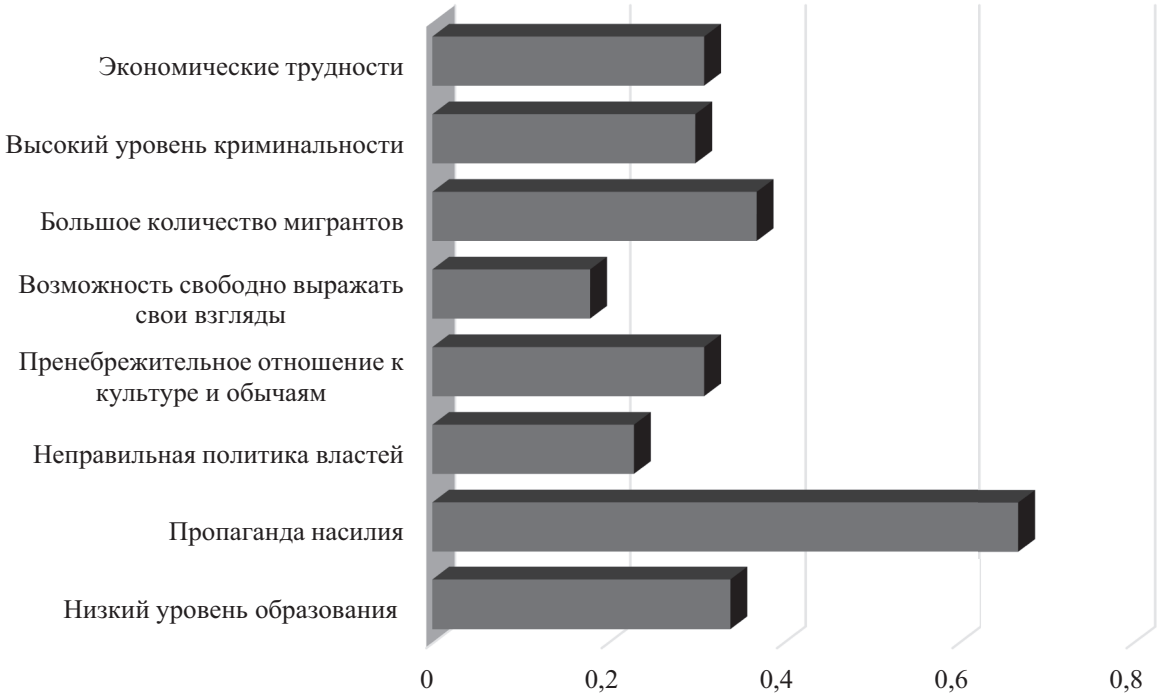


Рис. 2. Значение обобщенных коэффициентов обратной связи когнитивной модели развития угроз экстремизма и безопасности образовательной организации

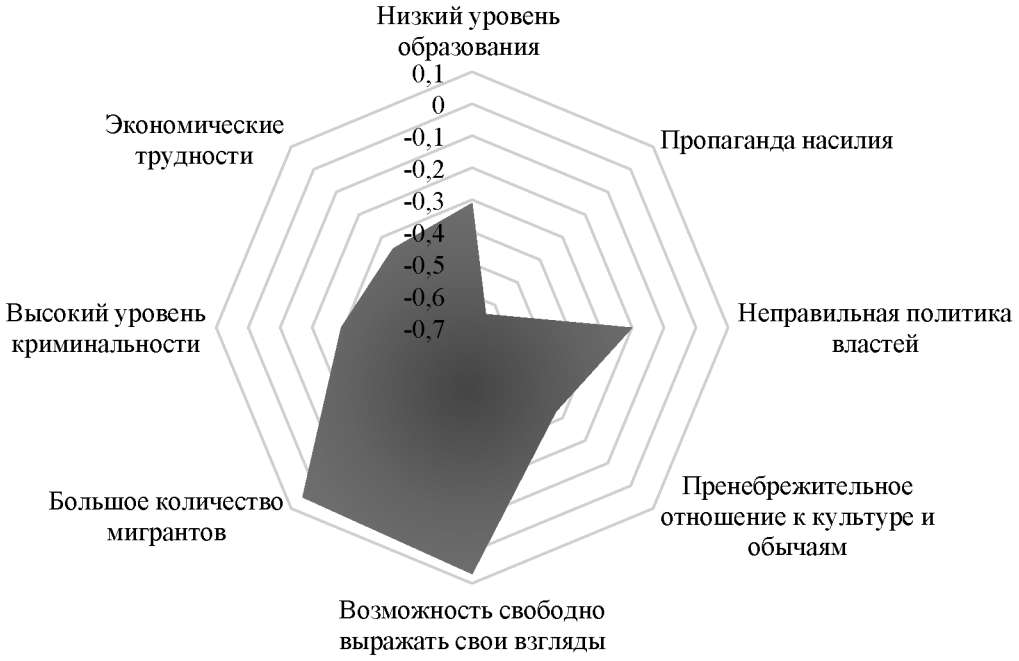


Рис. 3. Коэффициенты влияния управляющих факторов на безопасность образовательной организации

туации параметров — как в положительном, так и в отрицательном направлении — способны инициировать каскадные трансформации всех системных элементов.

Такая динамика объясняется наличием положительных обратных связей, усиливающих исходные возмущения. В частности, анализ показывает, что неоптимальные управленческие решения органов власти могут привести к экспоненциальному росту криминогенных показателей, кумулятивному усилению экономической нестабильности и нелинейному нарастанию межэтнической напряженности.

На четвёртом этапе проанализировано влияние управляющих факторов на безопасность образовательной организации. Результаты вычислений представлены на рис. 3.

Проведенное моделирование показывает, что усиление большинства факторов, способствующих распространению экстремистских угроз, ведет к снижению уровня безопасности в образовательных учреждениях. Однако некоторые детерминанты, такие как свобода выражения мнений и увеличение миграционных потоков, оказывают пусть незначительное, но позитивное воздействие на защищенность учебных заведений.

С точки зрения автора, выявленная закономерность отражает амбивалентную роль свободы слова в современном обществе. Если в краткосрочной перспективе неограниченное выражение позиций способно дестабилизировать обстановку, то в стратегическом плане оно выполняет важнейшую функцию социального «предохранителя», позволяя выявлять системные проблемы и запускать механизмы их регулирования.

Аналогично неоднозначно влияние миграции. Приток малообразованных и неквалифицированных мигрантов способен серьезно ухудшить безопасность в образовательной среде. В то же время привлечение высококвалифицированных специалистов, обладающих современными компетенциями, способствует развитию общества, укреплению межкультурного взаимодействия и распространению передовых практик. Это, в свою очередь, повышает престиж образования, формирует положительные социальные ориентиры и усиливает роль учебных заведений в прогрессе цивилизации.

В статье представлены результаты когнитивного моделирования, оценивающего воздействие факторов экстремистских угроз на безопасность образовательных организаций. Разработанный методологический подход к анализу причинно-следственных связей помогает определить ключевые направления для разработки профилактических мер, направленных на минимизацию рисков экстремизма. Эти меры важны не только для защиты системы образования, но и для устойчивого развития общества в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яровая А.Е. Развитие университета нового поколения: концепция и реальность её воплощения // Modern Economy Success. 2021. № 4. С. 167–176.
2. Каратабан И.А. Социальные проблемы современного образования в России // International Journal of Advanced Studies in Education and Sociology. 2022. № 2. С. 32–39.
3. Jiaxin Cui Different cognitive mechanisms used for solving open and closed math problems // International Journal of Psychology. 2023. Issue 6. P. 45–49.
4. Alex M. Silver, Leanne Elliott Teasing apart the unique contributions of cognitive and affective predictors of math performance // Annals of the New York Academy of Sciences. 2022. Volume 1511, Issue 1. P. 98–104.
5. Абрамян Г.А., Мурзин А.Д. Когнитивная модель повышения конкурентоспособности региональной экономики // Региональные проблемы преобразования экономики. 2023. № 5 (151). С. 17–24.
6. Закиева Е.Ш. Алгоритм интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений на основе нечеткой когнитивной модели оценки уровня безопасности // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 11-1. С. 43–48.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.38

СОЗДАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ КИТАЙСКОМУ ЯЗЫКУ ПО ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ К УЧЕБНИКУ «ПРАКТИЧЕСКИЙ КУРС КИТАЙСКОГО ЯЗЫКА» (НА ПЛАТФОРМЕ «GLIDE»)

Тё Ольга Евгеньевна
Кандидат филологических наук, доцент,
Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана
tyo_olga@bmstu.ru
Вильган Арсений Олегович
Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана
vilganarseny@gmail.com

Аннотация. В данной статье описан процесс создания мобильного приложения для обучения китайскому языку по дополнительным материалам к учебнику «Практический курс китайского языка» (А.Ф. Кондрашевский, М.В. Румянцева, М.Г. Фролова, под общей редакцией А.Ф. Кондрашевского). Рассмотрены преимущества выбранного цифрового инструмента разработки, структура приложения, методика организации учебных материалов и мультимедиа, а также технические решения по реализации интерактивных заданий и персонализации пользовательского опыта.

Ключевые слова: китайский язык, компьютерная лингводидактика, образовательные технологии, MALL, no-code разработка.

CREATING A MOBILE APPLICATION FOR TEACHING CHINESE BASED ON ADDITIONAL MATERIALS FOR THE TEXTBOOK «PRACTICAL COURSE OF CHINESE» (ON THE «GLIDE» PLATFORM)

O. Te
A. Vilgan

Summary. The article describes the process of creating a mobile application for teaching Chinese, based on supplementary materials for the textbook «Practical course of Chinese» (A.F. Kondrashevsky, M.V. Rumyantseva, M.G. Frolova, edited by A.F. Kondrashevsky). The advantages of the selected digital development tool, the structure of the application, the methodology of organizing educational content and multimedia materials are analyzed, as well as the technical solutions implemented to facilitate interactive tasks and personalization of the user experience.

Keywords: Chinese language, computer linguodidactics, educational technologies, MALL, no-code development.

Введение

Несмотря на то, что на сегодняшний день уже разработано большое количество цифровых лингводидактических инструментов для обучения китайскому языку, пока нет мобильного приложения, которое бы помогало эффективно закреплять материал в виде дополнительных упражнений к учебнику «Практический курс китайского языка». Отметим, что учебник «Практический курс китайского языка» (А.Ф. Кондрашевский, М.В. Румянцева, М.Г. Фролова, под общей редакцией А.Ф. Кондрашевского) [1] входит в перечень основной литературы в рабочих программах по китайскому языку во всех ведущих университетах России.

Обоснование выбора цифрового инструмента для создания приложения

Результаты сравнительного анализа современных no-code [2] средств разработки (Adalo, Thunkable, FlutterFlow, MIT App Inventor, Kodular, AppGyver и Glide) позволили выбрать в качестве инструмента реализации проекта платформу Glide — конструктор приложений, позволяющий создавать мобильные приложения на основе данных из электронных таблиц [3]. Платформа отличается низким порогом входа и быстротой освоения, особенно для тех, кто уже имеет опыт работы с базами данных.

Интерфейс конструктора интуитивен: разработчик оперирует таблицами данных и готовыми компонентами веб-интерфейса (текст, кнопки, ссылки и др.), настраивая их поведение через простые правила и вычисляемые атрибуты таблиц. Данные и логика приложения хранятся в облаке и обновляются в реальном времени. Glide не позволяет собрать нативное приложение в виде APK-файла для Android или загрузить продукт в App Store для iOS, но поддерживает создание прогрессивных веб-приложений (PWA), что позволяет запустить приложение через браузер или установить его на главный экран мобильного устройства [4, с. 565].

Структура приложения и процесс создания учебных материалов. Разработанное приложение содержит 30 уроков, 30 учебных текстов, словарь из 140-а лексических единиц, 594 практических задания пяти типов, а также 946 элементов мультимедиа различных видов.

Успех интеграции учебных материалов в приложение во многом зависит от правильной организации таблиц. Для каждой смысловой сущности была создана отдельная таблица, определены её основные атрибуты и их типы данных (рисунок 1).

Данный формат образует своего рода реляционную базу данных. Glide позволяет настроить связи между таблицами вручную, что было осуществлено через внешние ключевые атрибуты (типа Relation) «Урок» и «Номер урока».

Материалы каждого урока тематически и структурно соответствуют урокам из учебника [1]. После выбора урока на главном экране приложения, пользователю представляется подборка новой лексики (рисунок 2). Пользователь может нажать на слово, чтобы перейти

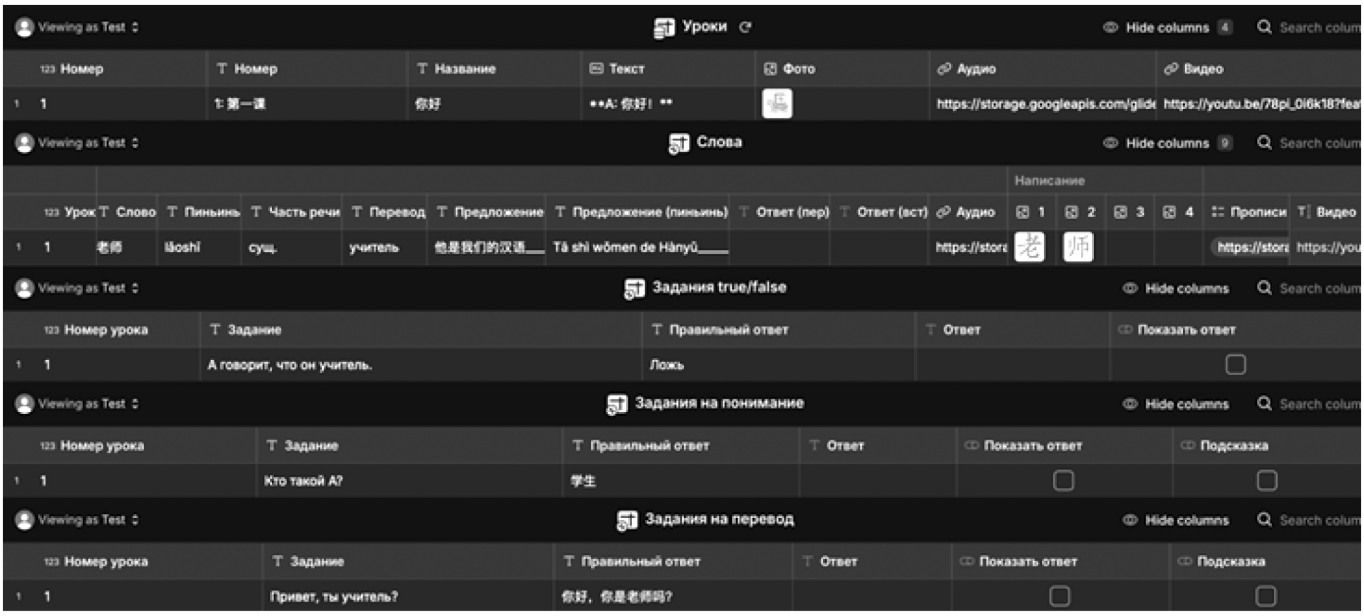


Рис. 1. Структура базы данных

Рис. 2. Главный экран, подборка лексики урока и доп. материалы

к его карточке с дополнительными материалами для более глубокого изучения. В карточке представлены: аудиозапись произношения лексемы, анимации порядка написания черт иероглифов, PDF-файл с бланком для тренировки написания иероглифа (так называемые «прописи» с сеткой из квадратов, внутри которых указаны контуры иероглифа для обводки), ссылка на внешний ресурс с аутентичными видео-примерами использования данного слова носителями языка в живой речи.

Центральным звеном каждого урока является учебный текст (диалог или повествовательный отрывок) на китайском языке (рисунок 3). В приложении он представлен в виде размеченного на языке Markdown [5] китайского текста. Дополнительно пользователю предлагается прослушать аудиозапись текста посредством нажатия на соответствующую кнопку. Лексика и объём текстов соответствуют уровням HSK 1-3.

В каждом уроке также присутствуют иллюстрации и встроенные видео по теме урока, подобранные из открытых ресурсов (рисунок 3). Их цель — создать дополнительные каналы восприятия информации: визуальную ассоциацию и слуховую практику. Также медиа расширяют культурный контекст и повышают мотивацию пользователя посредством смены вида деятельности, что делает запоминание материала более эффективным [6].

В отдельных экранах приложения представлены глобальный словарь курса с возможностью поиска лексем по их написанию/пиньинь/переводу через поисковую строку и фильтрации по урокам и по частям речи, а также чат для коммуникативной поддержки обучения (рисунок 3). Переписка на изучаемом языке в чате — распространенный приём коммуникационно-ориентированного MALL [7, с. 2]. Общение между студентами повышает мотивацию и вовлеченность: как показывает практика, поддержка со стороны группы и возможность обсуждать учебные темы положительно влияют на результаты изучения языка [8, с. 106].

Также в приложении реализованы несколько типов заданий для отработки лексики и на восприятие текста: упражнения на перевод слов, вставка пропущенного слова, открытые вопросы с вводом ответа, задания формата true/false, перевод предложений по тексту (рисунок 4). Такие задания развивают у пользователя как навыки анализа прочитанного, так и умения формулировать письменный ответ, используя активную лексику урока.

Все интерактивные задания призваны обеспечить обратную связь: пользователь может убедиться в том, что он усвоил новую лексику и содержание текста, а также повторно обратить внимание на моменты, вызвавшие затруднения. Цифровая форма выгодно отличается в этом плане от печатных сборников упражнений, где проверка происходит только с преподавателем — здесь же часть вопросов проверяется автоматически, а часть снабжена примерами ответа для самостоятельного разбора. Это поддерживает активность и автономность обучающегося и способствует более глубокому усвоению материала [9, с. 12].

Рис. 3. Учебный текст, мультимедиа, словарь и чат

Основные трудности разработки

Процесс создания приложения включал решение ряда нетривиальных технических задач, первой из которых стало то, что все новые слова и дополнительные учебные материалы были размещены в единой таблице. Для отображения на экране урока только относящихся к нему слов, а также только относящихся к выбранному пользователем слову учебных материалов потребовалось реализовать динамическую фильтрацию данных. В таблицу «Слова» был добавлен внешний ключевой атрибут, связывающий её записи с записями таблицы «Уроки». Для реализации персонализированного фильтра в таблицу «Пользователи» были добавлены атрибуты «Текущий урок» и «Текущее слово», в которые автоматически записываются уникальные идентификаторы урока или слова после нажатия на них пользователем. В результате система распознаёт, с какими уроками или словами в данный момент работают пользователи, и отображает соответствующие данные.

Одним из серьёзных ограничений платформы является невозможность прямой загрузки файлов непосредственно во внутренние таблицы. Для решения проблемы были использованы специальные компоненты Glide — «File Picker» (для загрузки аудио и PDF) и «Image Picker» (для загрузки GIF-анимаций). Загруженные таким образом файлы автоматически размещаются на сервере Glide, а в таблицах сохраняются URL-ссылки на эти материалы.

В процессе разработки обнаружилась проблема снижения скорости работы интерфейса из-за обилия медиа материалов. Для ускорения загрузки была использована

Рис. 4. Задания для отработки

Viewing as Test — Варианты ответов — Hide columns — Search colum

	Текущий урок	Текущие задания	Индекс	Все варианты (рус)	Все варианты (кит)	Варианты ответа (рус)	Варианты ответа (кит)	Варианты ответа (t-f)
1	19	茶 水 咖啡	0	чай вода кафе ре	茶 水 咖啡馆 餐	чай	茶	Правда
2	19	茶 水 咖啡	1	чай вода кафе ре	茶 水 咖啡馆 餐	вода	水	Ложь
3	19	茶 水 咖啡	2	чай вода кафе ре	茶 水 咖啡馆 餐	кафе	咖啡馆	
4	19	茶 水 咖啡	3	чай вода кафе ре	茶 水 咖啡馆 餐	ресторан	餐厅	
5	19	茶 水 咖啡	4	чай вода кафе ре	茶 水 咖啡馆 餐	конфеты	糖果	
6	19	茶 水 咖啡	5	чай вода кафе ре	茶 水 咖啡馆 餐	печенье	饼干	
7	19	茶 水 咖啡	6	чай вода кафе ре	茶 水 咖啡馆 餐			
8	19	茶 水 咖啡	7	чай вода кафе ре	茶 水 咖啡馆 餐			
9	19	茶 水 咖啡	8	чай вода кафе ре	茶 水 咖啡馆 餐			
10	19	茶 水 咖啡	9	чай вода кафе ре	茶 水 咖啡馆 餐			

Рис. 5. Функциональная таблица «Варианты ответов»

система условий отображения медиа компонентов. В таблицу «Слова» были добавлены специальные булевые атрибуты (уникальные для каждого пользователя и типа материалов), а в интерфейсе были размещены кнопки, меняющие значение соответствующих атрибутов. Отображение медиа только при удовлетворении условия (значение атрибута равно «True») позволило существенно ускорить загрузку и улучшить пользовательский опыт (рисунок 2).

Также платформа Glide не предоставляет готовых компонентов для учебных заданий. Все реализованные упражнения потребовали нестандартных решений с использованием базовых элементов интерфейса.

Некоторые задания потребовали использования компонента «Choice» для предоставления пользователю вариантов ответа (рисунок 4). Однако Glide не позволяет работать с массивами горизонтально, выборка данных возможна лишь из столбцов вертикально. Для решения проблемы была создана отдельная функциональная таблица с атрибутом типа Relation (связь с таблицей, содержащей варианты ответа) и вычисляемыми атрибутами Lookup (сбор вариантов в массив) и Single Value (извлечение одного значения массива по индексу, для указания которого был создан числовой атрибут, содержащий записи с числами от 0 (начало индексирования массива) до 9). Система формирует уникальный список вариантов ответа для каждого пользователя, после чего данные рандомизируются и отображаются в интерфейсе (рисунок 5).

Задания с открытыми вопросами включают компонент «Text Entry» для ввода ответа пользователем (рисунок 4). Ответ заносится в значение соответствующего атрибута и автоматически анализируется системой проверки правильности, во время реализации которой был разработан активируемый кнопкой алгоритм, в ходе выполнения которого система сопоставляет ответ пользователя с хранимым в таблице правильным ответом. По итогам сравнения в приложении выводится уведомление (зелёного или красного цвета) и атрибуту «Показать ответ» присваивается значение «True».

После проверки в интерфейсе сайта появляется один из трёх видов компонента «Hint». Первый — зелёного цвета, содержит правильный ответ и появляется, если ответ верен. Второй — красного цвета, содержит текстовое значение «Неверно» и появляется, если ответ неверный. Третий — жёлтого цвета, содержит правильный ответ и появляется, если булевый атрибут «Подсказка» принимает значение «True». Также пользователю предлагается использовать блок кнопок, одна из которых отвечает за сброс значений и позволяет пройти задание заново, а вторая за отображение подсказки (рисунок 4). Блок кнопок появляется только в том случае, когда пользователь уже дал ответ.

Дополнительно была внедрена возможность ручной настройки сложности чтения текстов урока. Пользователь может самостоятельно выбрать, отображать ли пиньинь под строками текста и воспроизводить ли аудиозапись прочтения диалогов. Для удобства работы с приложением добавлены отключаемые подсказки по функционалу приложения и расширенные возможности фильтрации и группировки (по урокам и частям речи) словарного раздела (рисунок 4). Эти решения обеспечивает дополнительную интерактивность и автономность пользователя, что повышает его мотивацию [9, с. 12].

Вывод

В рамках настоящей работы был разработано мобильное приложение, предназначенное для изучения и закрепления дополнительного учебного материала к учебнику «Практический курс китайского языка» (А.Ф. Кондрашевский, М.В. Румянцева, М.Г. Фролова, под общей редакцией А.Ф. Кондрашевского) [1]. Приложение доступно для использования по следующей ссылке: https://manmanlai.glide.page. Следует подчеркнуть, что данная разработка может быть интегрирована непосредственно в учебный процесс на занятиях, а также служить инструментом для самостоятельного изучения. Созданное приложение обеспечивает автоматическую проверку заданий с немедленной обратной связью, что позволяет своевременно выявлять ошибки и предоставлять подсказки для их устранения.

В процессе реализации проекта была создана сложная структура данных на базе платформы Glide, реализована динамическая фильтрация учебного контента и персонализация интерфейса под каждого пользователя. Были найдены уникальные технические решения по организации учебных заданий, загрузке и оптимизации мультимедийных материалов, что существенно улучшило пользовательский опыт и интерактивность обучения.

В перспективе планируется дальнейшее расширение функциональных возможностей приложения, добавление новых типов упражнений, интеграция более совершенных методов анализа пользовательских ответов и обратной связи. Также рассматривается возможность масштабирования проекта за счет увеличения объема доступных учебных материалов и поддержки более продвинутых уровней владения китайским языком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Практический курс китайского языка: в 2 т. Т. 1 / отв. ред. А.Ф. Кондрашевский. — 11-е изд., испр. — М.: Восточная книга, 2010. — 768 с.
2. Ajimati M.O., Carroll N., Maher M. Adoption of Low-Code and No-Code Development: A Systematic Literature Review and Future Research Agenda //Journal of Systems and Software. — 2024.
3. Glide [Электронный ресурс]. URL: https://www.glideapps.com (дата обращения: 27.02.2025).
4. Ali S., Grover C., Chaudhary R. Progressive web apps (PWAs)—Alternate to mobile and web //Emerging Technologies in Data Mining and Information Security: Proceedings of IEMIS 2022, Volume 1. — Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. — С. 565–576.
5. Markdown [Электронный ресурс]. URL: https://daringfireball.net/projects/markdown/ (дата обращения: 27.02.2025).
6. Кондрахина Н.Г., Южакова Н.Е. Дидактические основы интеграции комплекса медиаматериалов в процессе обучения иностранному языку в вузе //Мир науки, культуры, образования. — 2022. — №. 1 (92). — С. 44–47.
7. Morgana V. A review of MALL: from categories to implementation. The case of Apple's iPad //The EuroCALL Review. — 2019. — Т. 27. — №. 2. — С. 1–12.
8. Xue M. et al. Research on the application and influence of digital technology in international Chinese language education //Academic Journal of Humanities & Social Sciences. — 2022. — Т. 5. — №. 3. — С. 105–108.
9. Dolly Ann D. Caraca. Mobile-Assisted Language Learning (MALL) Theory //International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR). — 2023. — С. 1–14.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.39

CAGE: ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНДЕРНОЙ И СТРАНОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ТЕКСТА

CAGE: COUNTRY AND GENDER EXPLORATION

I. Tlupov

Summary. This paper addresses the task of classifying texts by author's gender and country. We present CAGE (Country and Gender Exploration), a machine learning solution utilizing modern NLP models. Identifying demographics from text data is relevant for analyzing social media and other platforms. The proposed approach uses pre-trained BERT models integrated into an interactive web application. Scientific novelty lies in applying BERT to predict the author's country of origin from English text and achieving high accuracy (99 %) for gender classification. The solution employs the BERT architecture for text processing and classification. Models were fine-tuned on specific datasets for gender and country tasks. It uses a BERT tokenizer and optimized TensorFlow Lite models. A Streamlit web application was developed for model interaction and result visualization. The gender model achieved 99 % accuracy and 0.98 AUC-ROC, surpassing prior results. The country model showed 73.9 % accuracy.

Keywords: text classification, gender, country, CAGE, BERT, machine learning, natural language processing, neural networks, Streamlit, TensorFlow Lite, social media data analysis, author profiling.

Тлупов Ислам Заурбекович
Университет ИТМО (Санкт-Петербург)
tlupovislam@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена задаче классификации текстов по гендерной и страновой принадлежности автора. Представленное в статье решение — CAGE (Country and Gender Exploration) построено на основе машинного обучения, использующее современные NLP-модели. Определение демографических характеристик по текстовым данным актуально для анализа социальных медиа и других платформ. Предлагаемый подход основан на использовании предварительно обученных моделей BERT, интегрированных в интерактивное веб-приложение. Научная новизна заключается в применении BERT для задачи определения страны происхождения автора по англоязычному тексту, а также в достижении высокой точности (99 %) в задаче классификации по гендеру. В основе решения лежит архитектура BERT для обработки и классификации текстов. Модели дообучены на специализированных наборах данных для задач определения гендера и страны. Используется токенизатор BERT и оптимизированные модели TensorFlow Lite. Разработано веб-приложение на Streamlit для взаимодействия с моделями и визуализации результатов. Модель гендерной классификации достигла точности 99 % и AUC-ROC 0.98, превзойдя опубликованные ранее результаты. Модель классификации по стране показала точность 73.9 %.

Ключевые слова: классификация текстов, гендер, страна, CAGE, BERT, машинное обучение, обработка естественного языка, нейронные сети, Streamlit, TensorFlow Lite, анализ данных социальных медиа, авторский профиль.

Введение

Классификация текстов является одной из фундаментальных задач обработки естественного языка (NLP), находящей применение в самых разных областях, от анализа настроений до определения авторства [1, 2]. В последнее время возрастает интерес к извлечению демографической информации, такой как пол (гендер) и страна происхождения автора, из текстовых данных. Эта информация критически важна для понимания демографического состава аудитории в социальных сетях, на форумах и других текстовых платформах, а также для социолингвистических исследований [3] и таргетированной коммуникации [4].

Данное исследование посвящено разработке и оценке системы CAGE (Country and Gender Exploration), предназначенной для классификации текстов по гендеру и стране происхождения автора с использованием современных методов машинного обучения. В отличие от многих существующих исследований, фокусирующихся либо на одной из этих задач, либо использующих традиционные методы (например, Naive Bayes [5], SVM [6]), здесь обе задачи решаются с применением передовой архитектуры BERT [7].

Задача определения гендера по тексту исследовалась ранее, например, с использованием стилистических и контентных признаков в Twitter [8] или сверточных нейронных сетей (CNN) [9]. Однако достижение высокой точности остается сложной задачей, и современные подходы на основе трансформеров, такие как BERT, показывают многообещающие результаты [10]. Задача определения страны происхождения автора по англоязычному тексту является значительно менее изученной и представляет собой новое направление исследований в области авторского профилирования [11]. Она требует улавливания тонких лингвистических и культурных маркеров, которые могут указывать на географическое происхождение автора, даже если текст написан на стандартном английском языке. Здесь могут быть полезны концепции культурной лингвистики [12] и методы анализа межкультурных языковых вариаций [13].

Научная новизна данного исследования заключается в применении BERT для определения страны происхождения по англоязычному тексту и в достижении state-of-the-art точности в задаче определения гендера. Особенностью проекта является также реализация интерактивного веб-приложения, демонстрирующего возможности обученных моделей [14].

Архитектура модели и реализация

Основу разработанных классификаторов составляет модель BERT [7] на базе механизмов внимания [15] и двунаправленному кодированию. Мы использовали базовую модель 'bert-base-uncased' из библиотеки Hugging Face Transformers [16].

Для адаптации к конкретным задачам классификации (гендер и страна) производилось дообучение (fine-tuning) предварительно обученной модели BERT на целевых наборах данных. Для гендерной классификации модель учится распознавать лингвистические и стилистические особенности, коррелирующие с полом автора [8, 10]. Для классификации по стране модель фокусируется на выявлении тонких языковых и культурных маркеров (например, идиомы, выбор лексики, структура аргументации), указывающих на страну происхождения [11, 13].

Текст перед подачей в модель проходит токенизацию с использованием стандартного токенизатора BERT (WordPiece) с размером словаря 30522 токена. Максимальная длина последовательности токенов была установлена в 128.

Для обеспечения возможности развертывания и использования моделей в веб-приложении, обученные модели были преобразованы в формат TensorFlow Lite (TFLite) [17].

Пользовательский интерфейс реализован в виде веб-приложения с использованием фреймворка Streamlit [18]. Приложение позволяет пользователю ввести произвольный текст, выбрать задачу (определение гендера или страны) и получить результат классификации в виде предсказанного класса и визуализации вероятностей принадлежности к каждому классу (например, в виде столбчатой диаграммы) (рисунок 1, 2). Детали реализации и код моделей доступны в репозитории проекта CAGE [14].

Данный подход позволяет не только достичь высокой точности классификации, но и сделать передовые модели машинного обучения доступными для исследования и демонстрации через интуитивно понятный веб-интерфейс.

Данные и постановка экспериментов

Для обучения и оценки моделей использовались два различных общедоступных набора данных.

1. Гендерная классификация. Использовался набор данных «Twitter User Gender Classification» с платформы Kaggle. Он содержит тексты твитов, аннотированные по полу автора (мужской/женский). Общий размер датасета составил 18411 текстов. Данные были разделены на обучающую (80 %, 14729 текстов) и тестовую (20 %, 3682 текста) выборки. Примеры данных приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

Примеры данных для гендерной классификации

Текст (Text)	Гендер (Gender)	Очищенный текст (Cleaned Text)	Длина токенов (Token Length)
@psych tutor at lec. where u at cuz i need help with my hw	Female	psych tutor at lec where u at cuz i need help with my hw	36
I know it's only 3pm, bare with me, but Marissa has already started drinking.	Male	i know it's only 3pm bare with me but marissa has already started drinking	36

2. Классификация по стране. Использовался набор данных «COVID-19 NLP Text Classification» с Kaggle. Этот датасет содержит твиты, связанные с пандемией COVID-19, с указанием страны автора. Датасет включает 3798 текстов, которые также были очищены и разделены на обучающую (80 %, 3038 текстов) и тестовую (20 %, 760 текстов) выборки. Примеры данных приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

Примеры данных для классификации по стране

Оригинальный твит (Original Tweet)	Страна (Country)	Очищенный текст (Cleaned Text)	Длина токенов (Token Length)
Hiked prices in the face of the Covid-19 crisis. #economy #recession	United Kingdom	hiked prices in the face	74
$BRZL Scepter Holdings, Inc., Developing Hand Sanitizer to Combat Covid-19	United States	brzl scepter holdings inc developing hand sanitizer to combat covid-19	74
Francisco shared this photo with us from Santa...	United States	francisco shared this photo with us from santa...	72

В таблице 3 представлено распределение данных по задачам.

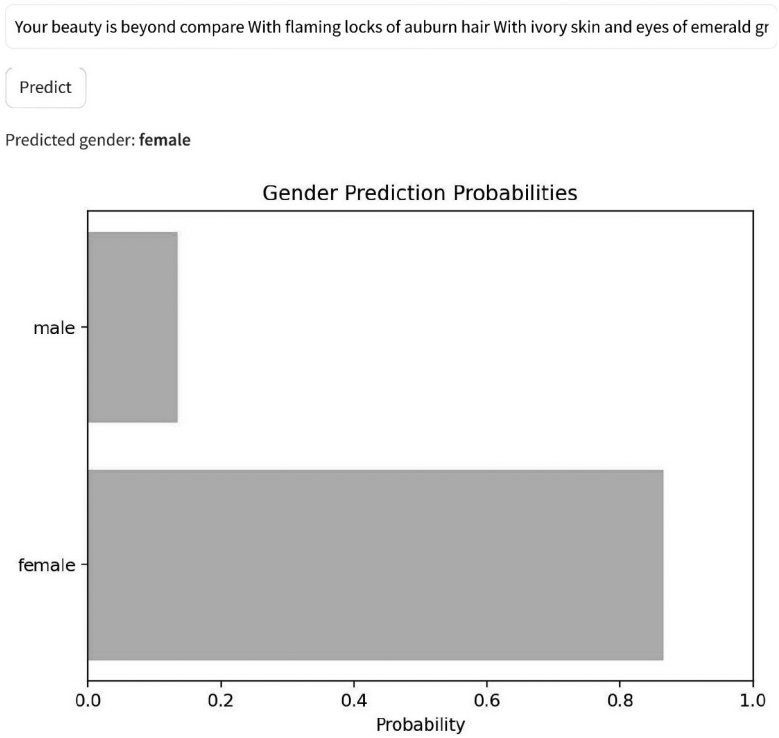


Рис. 1. Интерфейс веб-приложения CAGE

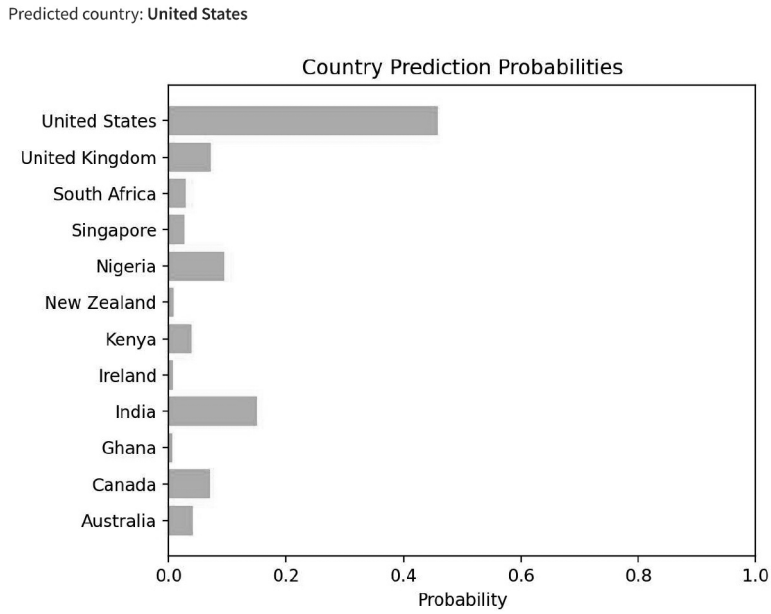


Рис. 2. Визуализация вероятностей классов в CAGE

Таблица 3.

Распределение данных по задачам

Задача (Task)	Обучение (Train)	Тест (Test)
Гендерная классификация	14,729	3,682
Классификация по стране	3,038	760

Метрики и параметры эксперимента

Для оценки качества моделей использовались две основные метрики: точность (Accuracy) и площадь под ROC-кривой (AUC-ROC). Модели обучались с использованием архитектуры 'bert-base-uncased', максимальной длиной последовательности 128 токенов. В качестве оптимизатора применялся RectifiedAdam с параметрами: скорость обучения 1,2 * 10^{-4}, $beta_1$ = 0,95, $beta_2$ = 0,999, epsilon = 1 * 10^{-8}, с использованием варианта AMSGrad. Функция потерь — категориальная кросс-энтропия (categorical crossentropy). Обучение проводилось в течение 2 эпох с размером пакета (batch size) 32. Для каждой задачи было выполнено 5 прогонов для усреднения результатов.

Базовые модели

Для сравнения результатов использовались показатели, достигнутые другими подходами на аналогичных задачах или данных. В частности, для гендерной классификации на рассматриваемом датасете Kaggle ранее сообщалось о точности 96 % и AUC-ROC 0.94 как о state-of-the-art результате. Для задачи классификации по стране на датасете твитов о COVID-19, как базовый уровень можно рассматривать результаты моделей на основе TF-IDF и градиентного бустинга (например, CatBoost), которые на схожих задачах текстовой классификации часто показывают точность в диапазоне 60–70 %. Результаты сравнения производительности приведены в Таблице 4.

Таблица 4.

Сравнение производительности моделей

Модель (Model)	Точность (Accuracy)	AUC-ROC
Прошлая SOTA (Гендер)	96 %	0.94
Наша модель (Гендер)	**99 %**	**0.98**
Базовый уровень (Страна, оценка)	~68–70 %	–
Наша модель (Страна)	**73.9 %**	**–**

Как видно из таблицы, предложенные модели на основе BERT значительно превосходят известные или ожидаемые базовые показатели для обеих задач.

Обсуждение

Результаты экспериментов подтверждают высокую эффективность использования дообученных моделей BERT для задач классификации текстов по гендеру и стране происхождения автора в рамках системы CAGE.

В задаче гендерной классификации разработанная модель достигла точности 99 % и AUC-ROC 0.98. Это существенно превосходит ранее опубликованный лучший результат на данном датасете Kaggle (96 % точность, 0.94 AUC-ROC). Столь высокий показатель свидетельствует о способности BERT улавливать тонкие стилистические и лексические маркеры, связанные с гендером [8, 10], которые могут быть неочевидны для традиционных методов, основанных на частотных характеристиках слов. Улучшенная предобработка данных также внесла свой вклад в итоговый результат.

В задаче классификации по стране происхождения по англоязычным твитам модель показала точность 73.9 %. Хотя этот показатель ниже, чем в задаче гендерной классификации, он демонстрирует значительное улучшение по сравнению с ожидаемым базовым уровнем (~68-70 %) для методов типа TF-IDF + CatBoost. Данная задача является новаторской и значительно более сложной [11]. Определение страны по короткому тексту на неродном (для многих авторов) английском языке требует от модели понимания не только явных указаний (топонимы, упоминания местных реалий), но и скрытых культурно-лингвистических особенностей — специфического выбора слов, построения фраз, использования идиом [12, 13], которые могут варьироваться у носителей английского языка из разных стран или у тех, для кого английский является вторым языком. Точность 73.9 % является многообещающим первым результатом в этой области и демонстрирует потенциал BERT для решения подобных задач авторского профилирования.

Интерактивное веб-приложение CAGE [14], разработанное на Streamlit [18], делает результаты исследования доступными и полезными не только для исследователей, но и для практиков, заинтересованных в демографическом анализе текстовых данных. Оно позволяет продемонстрировать возможности моделей и провести исследовательский анализ на собственных примерах. Примеры работы модели (Таблица 5) иллюстрируют ее способность делать правдоподобные предсказания на разнообразных текстах.

Таблица 5.

Примеры выходных данных модели CAGE

Текст (Text)	Предсказанный гендер (Predicted Gender)	Предсказанная страна (Predicted Country)
«Your beauty is beyond compare...»	Female	United States
«Reflections on @virgingalactic first space flight...»	Male	United Kingdom
«Winky, though hesitant, knew better than to question...»	Male	US/Canada

Несмотря на достигнутые успехи, существуют и ограничения. Точность определения страны все еще далека от идеальной, что связано как со сложностью задачи, так и с возможными ограничениями использованного датасета (размер, тематика, распределение стран). Модели могут быть чувствительны к качеству текста и его длине. Кроме того, как и многие модели машинного обучения, они могут отражать или даже усиливать существующие в данных социальные смещения (bias) [19], что требует осторожности при интерпретации результатов и дальнейших исследований в области этики ИИ [20].

Перспективы применения разработанных моделей включают анализ демографии аудитории в социальных сетях [3, 4], изучение гендерных и культурных различий в языке [12], персонализацию контента, выявление фейковых аккаунтов или ботов, пытающихся имитировать определенную демографическую принадлежность.

Заключение

В рамках данного исследования была разработана и оценена система CAGE (Country and Gender Exploration) на основе моделей машинного обучения BERT для решения задач классификации текстов по гендерной и страновой принадлежности автора.

Основные результаты работы:

1. Достигнута передовая точность (99 %) и AUC-ROC (0.98) в задаче определения гендера по тексту на стандартном наборе данных, что превосходит известные опубликованные решения.
2. Предложен и реализован новаторский подход к определению страны происхождения автора по англоязычному тексту с использованием BERT, достигнута точность 73.9 % на датасете твитов о COVID-19, что является отличным результатом для этой сложной и малоизученной задачи авторского профилирования.
3. Разработано интерактивное веб-приложение CAGE для демонстрации возможностей моделей, использующее оптимизированные версии (TensorFlow Lite) и доступное в виде открытого исходного кода [14].

Полученные результаты демонстрируют высокий потенциал современных NLP-моделей, таких как BERT, для извлечения демографической информации из текста. Работа вносит вклад как в область гендерной классификации текстов, так и открывает новое направление исследований по определению страны происхождения автора.

Направления дальнейших исследований могут включать:

— анализ и смягчение потенциальных социальных смещений в моделях [19, 20];
— исследование возможности определения более гранулярной географической информации;
— сравнение с другими современными архитектурами трансформеров (например, RoBERTa, ALBERT).

Разработанные модели и приложение CAGE могут найти применение в социологических исследованиях, маркетинге, анализе социальных медиа и других областях, где важен демографический анализ текстовых данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Manning C.D., Raghavan P., Schütze H. Introduction to Information Retrieval. — Cambridge University Press, 2008.
2. Aggarwal C.C., Zhai C. A survey of text classification algorithms // Mining text data. — Springer, Boston, MA, 2012. — С. 163–222.
3. Hovy D. Demographic factors in sentiment analysis // Computational Linguistics. — 2015. — Т. 41. — №. 4. — С. 643–657.
4. Schwartz H. A. et al. Personality, gender, and age in the language of social media: The open-vocabulary approach // PloS one. — 2013. — Т. 8. — №. 9. — С. e73791.
5. McCallum A., Nigam K. A comparison of event models for naive bayes text classification // AAAI-98 workshop on learning for text categorization. — 1998. — Т. 752. — №. 1. — С. 41–48.
6. Joachims T. Text categorization with support vector machines: Learning with many relevant features // European conference on machine learning. — Springer, Berlin, Heidelberg, 1998. — С. 137–142.
7. Devlin J., Chang M.W., Lee K., Toutanova K. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding // arXiv preprint arXiv:1810.04805. — 2018.
8. Burger J. D. et al. Discriminating gender on Twitter // Proceedings of the 2011 conference on empirical methods in natural language processing. — 2011. — С. 1301–1309.
9. Zhang X., Zhao J., LeCun Y. Character-level convolutional networks for text classification // Advances in neural information processing systems. — 2015. — Т. 28.
10. Bartl M. et al. Gender Identification in Social Media Texts using BERT // Proceedings of the GermEval 2021 Shared Task on the Identification of Toxic, Engaging, and Fact-Claiming Comments. — 2021. — С. 100–106.
11. Rangel F. et al. Overview of the 8th author profiling task at PAN 2020: Profiling fake news spreaders on Twitter // CLEF (Working Notes). — 2020.
12. Sharifian F. Cultural Linguistics: Cultural conceptualisations and language. — John Benjamins Publishing Company, 2017. — Т. 14.
13. Cook P., Baldwin T. Predicting native language from linguistic features // Australasian Language Technology Association Workshop 2012. — 2012. — С. 117.
14. Tlupov I. CAGE Project Repository [Электронный ресурс] // GitHub. URL: https://github.com/EmotionEngineer/CAGE (дата обращения: 10.04.2025).
15. Vaswani A. et al. Attention is all you need // Advances in neural information processing systems. — 2017. — Т. 30.
16. Wolf T. et al. Transformers: State-of-the-art natural language processing // Proceedings of the 2020 conference on empirical methods in natural language processing: system demonstrations. — 2020. — С. 38–45.
17. TensorFlow Lite Documentation [Электронный ресурс]. URL: https://www.tensorflow.org/lite (дата обращения: 10.04.2025).
18. Streamlit Documentation [Электронный ресурс]. URL: https://streamlit.io/ (дата обращения: 10.04.2025).
19. Doughman M. et al. We need to talk about BERT: A systematic characterization of gender bias in context-dependent lexical representations // Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2021. — 2021. — С. 4299–4306.
20. Bender E.M. et al. On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? // Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. — 2021. — С. 610–623.
21. Sun S. et al. How to fine-tune BERT for text classification? // Chinese Computational Linguistics: 18th China National Conference, CCL 2019, Kunming, China, October 18–20, 2019, Proceedings 18. — Springer International Publishing, 2019. — С. 194–206.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.41

ТЕОРИЯ СИНЕРГИИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ В ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТАХ

THEORY OF SYNERGY BETWEEN QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ANALYSIS METHODS FOR OPTIMIZING RESOURCE MANAGEMENT IN INNOVATIVE PROJECTS

E. Khrol

Summary. In today's world, innovation plays a crucial role in economic growth and competitiveness. Effective resource management in innovative projects requires special attention to risks, as they are often associated with a high degree of uncertainty. This article examines risk analysis methods, including both quantitative and qualitative approaches. It focuses on Monte Carlo methods, game theory, decision trees, brainstorming, risk mapping, and the Delphi method. These tools assist in identifying, assessing, and managing risks, which is critical for the successful implementation of projects. The theoretical foundations and practical examples of these methods are discussed, along with their effectiveness in the context of a dynamic market and technological changes. Risk analysis is an essential tool for project managers, enabling them to minimize losses and address the challenges of the modern market. The integration of various risk analysis methods contributes to achieving better outcomes in the resource management of innovative projects.

Keywords: innovation, economic growth, competitiveness, resource management, methods, risks, project management, implementation.

Хроль Екатерина Владимировна
Преподаватель, Краснодарский филиал ФГБОУ ВО Финансовый университет при Правительстве РФ
e.v.khrol@mail.ru

Аннотация. В современном мире инновации играют ключевую роль в экономическом росте и конкурентоспособности. Эффективное управление ресурсами в инновационных проектах требует особого внимания к рискам, поскольку они часто связаны с высокой степенью неопределенности. В данной статье рассматриваются методы анализа рисков, включая количественные и качественные подходы. Основное внимание уделяется методам Монте-Карло, теории игр, «дереву решений», «мозговому штурму», риск-картам и методу Дельфи. Эти инструменты помогают идентифицировать, оценивать и управлять рисками, что критически важно для успешной реализации проектов. Также обсуждаются теоретические основы и практические примеры применения этих методов, их эффективность в условиях динамичного рынка и технологических изменений. Анализ рисков является важным инструментом для проектных менеджеров, позволяя минимизировать потери и справляться с вызовами современного рынка. Интеграция различных методов анализа рисков способствует достижению лучших результатов в управлении ресурсами инновационных проектов.

Ключевые слова: инновации, экономический рост, конкурентоспособность, управление ресурсами, методы, риски, проектный менеджмент, реализация.

В современном мире инновации являются основным двигателем экономического роста и конкурентоспособности. Управление рисками в инновационных проектах становится особенно важным из-за высокой степени неопределенности, влияющей на их успешность. Российские ученые, такие как В.И. Воропаев, Б.П. Титаренко, В.М. Аньшин, Г.Л. Ципес, В.Н. Михеев и Д.А. Новиков, внесли значительный вклад в теорию проектного менеджмента, развивая методы и инструменты управления проектами [1].

Однако, несмотря на обилие исследований, необходимость дальнейшего изучения этой темы остается актуальной. Проблемы анализа текущего уровня проектного управления в организациях подчеркивают потребность в повышенном внимании к данному вопросу.

В условиях быстро меняющегося рынка, где технологии и потребительские предпочтения изменяются стремительно, проектные менеджеры должны генерировать идеи и эффективно управлять связанными рисками. Несмотря на проектно-ориентированный характер российской экономики, существует значительный разрыв между потребностью в качественном проектном управлении и существующей инфраструктурой в компаниях (см. рис. 1).

Актуальность данной работы обусловлена тем, что многие инновационные проекты различных сфер не достигают своих целей из-за отсутствия верного расчета оценки рисков проекта, что приводит к финансовым потерям и утрате конкурентных преимуществ в области инноваций.

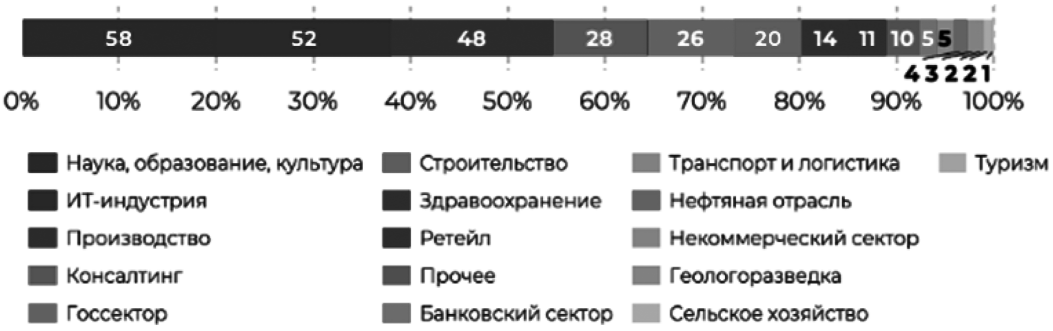


Рис. 1. Количество компаний, внедряющих проектное управление в экономическую деятельность в процентном соотношении по сферам

Источник: Составлено автором на основании [7]

В 2022 году общий уровень инновационной активности среди крупных и средних российских компаний составил 11 %, что немного превышает показатели 2019 и 2020 годов — 9,1 % и 10,8 % соответственно [2,6].

Наивысший уровень инновационной активности отмечается в обрабатывающей промышленности (20,7 %). Лидирующие позиции занимают производители летательных и космических аппаратов (51,1 %), компьютеров (48,4 %), машин и оборудования (38,7 %), электрооборудования (38,5 %), автотранспортных средств (34,6 %), а также кораблей, судов и лодок (31,2 %).

На рис. 2 представлена диаграмма по видам инновационной деятельности в России.

Исследование и разработка в обрабатывающей промышленности также занимает первое место по внедрению технологических инноваций. Доля таких организаций, занимающихся разработкой и реализацией нововведений, достигает 27,7 %, что выше среднего показателя по стране (22,8 %).

Проектные менеджеры нуждаются в надежных инструментах и методах для точной оценки рисков и принятия обоснованных решений в процессе развития проектов. В данной работе рассматриваются инструменты и методики, применяемые для количественной и качественной оценки рисков в инновационных проектах.

Анализ рисков является ключевым инструментом для идентификации, оценки и управления непредвиденными обстоятельствами, которые могут негативно повлиять на реализацию проекта. Основная цель этого анализа — это снижение возможных потерь и повышение вероятности успешного завершения проекта. Инновационные проекты, обладая высокой степенью неопределенности, требуют применения специфических методов анализа рисков, учитывающих их уникальные характеристики [3].

Риски в инновационных проектах делятся на внутренние и внешние. Внутренние риски связаны с недостатками в управлении, нехваткой ресурсов и технологическими сбоями, тогда как внешние риски возникают из изменений в законодательстве, экономической ситуации или появлении новых конкурентов. Учет как внутренних, так и внешних угроз позволяет проектным менеджерам формировать полное представление о потенциальных рисках. На первоначальных этапах проектирования ключевым аспектом является проведение предварительного анализа, позволяющего выявить потенциальные риски ещё до начала реализации проекта. В данном контексте особую роль играет формирование идеи и концепции инновационного решения, где в центр внимания должны быть поставлены всевозможные риски. Применение качественных методов анализа помогают на ранних стадиях выявить и классифицировать риски по уровням вероятности их возникновения и потенциального влияния на проект.

Использование количественных методов анализа может помочь более детально исследовать риски, позволяя формализовать данные о вероятностях и последствиях, а моделирование разнообразных сценариев с применением статистических методов дает возможность оценить возможные результаты и выбрать наиболее оптимальный путь реализации проекта.

Важно проводить анализ не только в момент старта проекта, но и на протяжении всего процесса. Для этого больше всего подходит комбинированный подход, который совмещает в себя как качественные, так и количественные методы, позволяя повысить точность и релевантность анализа.

В последние годы, за счет актуализации данных и расширение сферы применения инструиентов ИТ, количество методов анализа для рационального управления ресурсами. Значительный рост связывают с тем, что методы, основанные на математике и статистике, дают более точные результаты и помогают оценить угрозы и возможности. Также стоит отметить, что алгоритмы для анализа рисков могут варьироваться в зависимости от проекта, доступных данных и его особенностей.

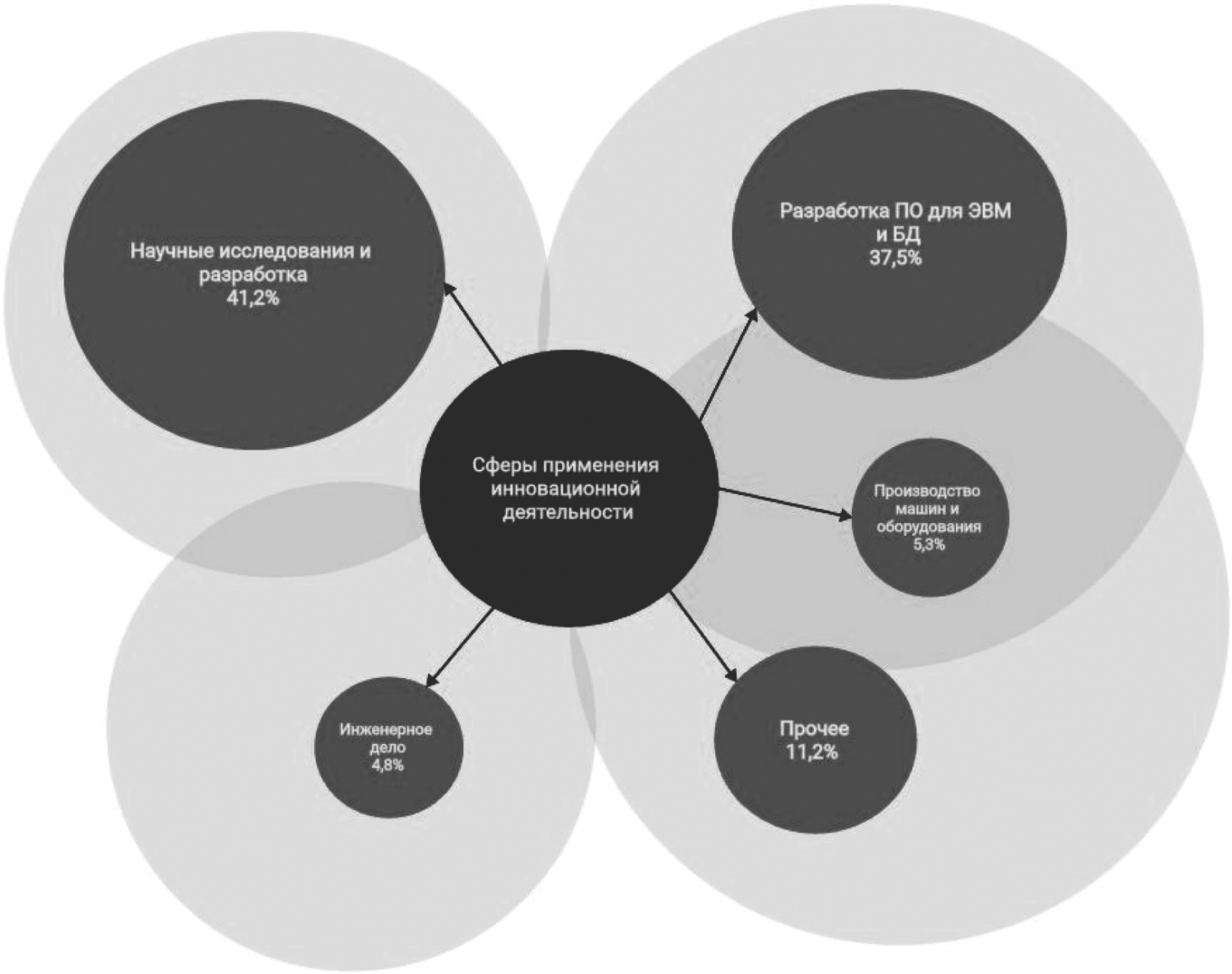


Рис. 2. Сферы применения инновационной деятельности, %

Источник: Составлено автором на основании [6]

Важно учитывать, что при использовании количественных методов необходимо правильно интерпретировать данные и результат для грамотного респределения ресурсов. Используемая методика в проекте должна соответствовать конкретным условиям проекта и тому, насколько команда способна справиться с анализом использонванных и, в дальнейшим, полученных данных. Даже самые точные методы могут некорректно применяться, если команда не понимает, как грамотно использовать тот или иной ресурс.

В России наиболее применимыми сферами для формирования новых компетенций инновационных проектов выделяют 12 национальных проектов по таким направлениям как:

— демография;
— здравоохранение;
— образование;
— жилье и городская среда;
— экология;
— безопасные и качественные автомобильные дороги;
— производительность труда и поддержка занятости;
— наука;
— цифровая экономика;
— культура;
— малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы;
— международная кооперация и экспорт.

Национальные проекты направлены на обеспечение прорывного научно-технологического и социально-экономического развития нашей страны и являются инновационными стартапами для применения цифровых технологий и иных бизнес-инструментов для циклического управления проектами и их ресурсами. За счет при-

менения различных метрик данные проекты нацелены на повышение уровня жизни, создания условий и возможностей для самореализации и раскрытия таланта как каждого человека, так и различных команд.

Главное при использовании количественных методов — это проверка и подтверждение моделей. Тестирование на реальных данных помогает убедиться в точности выводов и подстроить методику под особенности проекта. Такой подход повышает надежность результатов и доверие к рекомендациям.

В итоге, анализ рисков помогает лучше понять сложные процессы, связанные с инновациями. У каждого метода есть свои плюсы и минусы, и тут не только математические расчеты, но и учет особенностей конкретного проекта. Сочетая разные методы, можно повысить точность и надежность результатов, что поможет в успешной реализации инновационных проектов. [5,7].

В то время как качественные методы нацелены больше на первые этапы жизненного цикла планирования проекта (см. рис. 3).

Такие методы позволяют выявить потенциальные угрозы и возможности, оценить влияние неявных факторов, которые могут значительно подействовать на результаты. Качественные методы не зависят от числовых данных, они сосредоточены на субъективной интерпретации, оценке и опыте участников процесса [3,6].

Одним из самых распространенных качественных методов является метод под названием «Мозговой штурм», который включает в себя активный обмен идеями среди участников команды проекта. В ходе мозгового штурма участники, основываясь на своем профессиональном опыте и интуиции, выявляют возможные риски и предвидят затраты ресурсов. Вовремя этого метода происходит генерация разнообразных идей, а также выявление скрытых рисков, которые не были рассмотрены на этапе планирования проекта.

Использование метода мозгового штурма позволяет найти нестандартные решения в короткие сроки, этот метод его легко организовать и легко провести. Проведя анализ, было выявлено, что на российском рынке наиболее популярные сферы применения это:

— ИТ-компании (78 % крупных ИТ-компаний используют данный метод в своей деятельности);
— производственные компании (55 % крупных компаний используют данный метод в своей деятельности);
— ритейл (49 % крупных компаний используют данный метод в своей деятельности);
— финансовые компании (45 % крупных компаний используют данный метод в своей деятельности).

Мозговой штурм метод отлично развивает командную работу, снижает конкуренцию в группе и позволяет вовлечь в процесс проекта всех участников.

Сравнительное исследования выявило, что группы, использующие электронный мозговой штурм, генерируют в среднем на 20 % больше идей и на 15 % больше уникальных идей по сравнению с традиционными сессиями.

Следующим методом рассмотрим метки рисков или риск-карты, которые представляют собой довольно полезный инструмент, который все чаще используют ИТ-менеджеры. В этом методе риски классифицируются и визуализируются на графике по двум осям:

— первая — это вероятности появления риска;
— вторая — это воздействие на проект [4,8].

Применяя данную визуализациую можно определить, какие риски требуют наиболее пристального внимания, а какие могут быть контролируемыми. Такой подход помогает команде сосредоточиться на главных и наиболее критичных аспектах, упрощая принятие решений.

Стоит отметить, применимость метода Дельфи, который включает в себя работу с экспертами для получения оценок рисков. Эксперты анонимно высказывают свое мнение, что снижает влияние группы и позволяет более точно представить отчет. Спустя несколько раундов опросов эксперты могут пересмотреть свои оценки, основываясь на мнениях других специалистов, что приводит к более согласованным результатам. Данный метод подойдет для комплексных проектов, которые требуют экспертного мнения и полного анализа специфичных рисков [4,5].

Несмотря на разнообразие качественных методов, все они имеют свои погрешности и ограничения. Часто подходы анализов рисков зависят от опыта и интуиции участников, что может привести к предвзятости и субъективным решениям, которые могут не всегда отразить реальную ситуацию. К примеру, в команде присутствуют только оптимистично настроенные участники, которые могут не полноценно оценить вероятность появления негативных рисков и неверное распределние ресурсов. И наоборот, с негативно настроенными экспертами. Поэтому особо важной задачей является наличие сбалансированной группы, которая включает разных экспертов с различными точками зрения.

Для повышения надежности качественного анализа в управлении проектами целесообразно интегрировать его с количественными методами. Так, качественный анализ позволяет выявить потенциальные риски и их возможные последствия в проекте, в то время как количественный подход предоставляет возможность оценить вероятность возникновения этих рисков и их

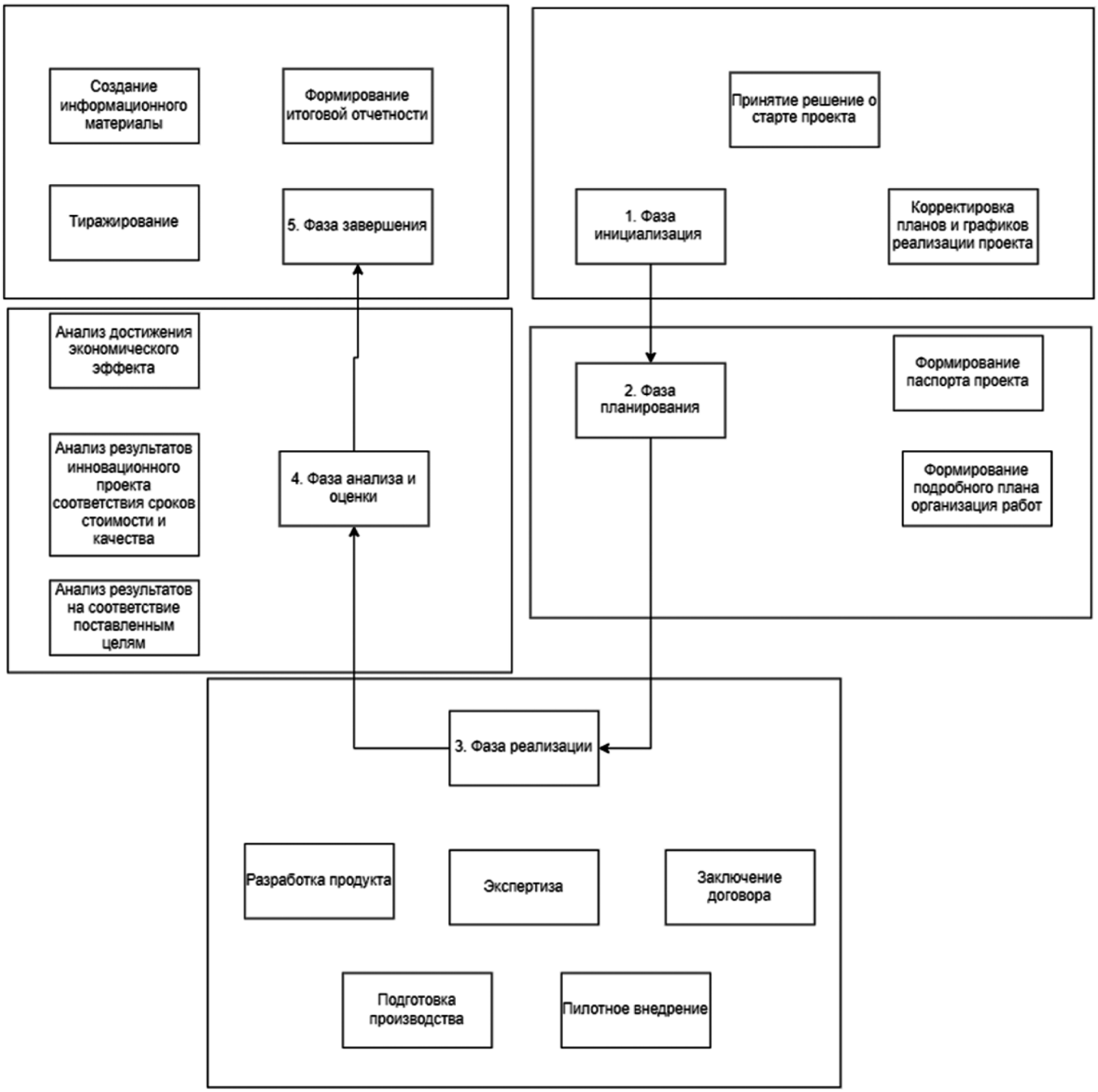


Рис. 3. Фазы жизненного цикла инновационного проекта

Источник: Составлено автором на основании [5]

влияние в числовом выражении, опираясь на количественные данные и статистические модели. Синергия этих методов способствует снижению влияния субъективных факторов и повышает точность анализа применимости управления ресурсов проекта.

В рамках данного исследования проведем расчет значений применения качественных и количественных методов анализа в проектном управлении за последние два десятилетия, представив результаты в процентном соотношении. (см. таблица 1).

Значения применения качественных и количественных методов проектного управления (на примере топ-10 по технологичности)

2013 год		2023 год	
Качественные методы	Количественные методы	Качественные методы	Количественные методы
60%	40%	75%	25%

Источник: Составлено автором на основании [4]

Процентное соотношение изменилось значительно, для вычисления общего воздействия каждой взаимосвязи можно использовать взвешенные показатели для каждого элемента. На основе этого сделаем вывод, что качественные методы со временем стали занимать большое количество в работе проектного планирования, потому что успех инновационных проектов напрямую зависит от умения менеджеров эффективно управлять рисками. В условиях быстро меняющегося технологического и экономического ландшафта становится особенно актуальным применение подходов, направленных на минимизацию потенциальных угроз. Важно учесть специфику новых продуктов и услуг, а также особенности их внедрения на рынок, в момент разработки финальных рекомендаций для проектных менеджеров [3,8].

Прежде всего, необходимо глубоко понимать как количественные, так и качественные методы анализа рисков, а затем внедрить многоуровневую стратегию, комбинирующую эти методы для достижения поставленных целей. Учитывая уникальность каждого проекта, подход к его анализу должен быть адаптирован к его специфике.

В теоритическом плане крупные технологические компании особо акцентируют внимание на необходимость мониторинга и контроля, так как риски могут меняться исходя из движения проекта. Системы мониторинга ключевых метрик риска на современных информационных системах открыты для большего числа людей и облегчают мониторирование Дополнительно, формирование культуры риска для многих значителен. Проектный менеджер должен привлечь всех участников к обсуждению рисков, что сделает их более информированными, чувствующими себя ответственными. [2,4].

Важным фактором управления ресурсом проекта является его документирование. Ведение документации всех этапов идентификации и анализа рисков облегчает обратную связь и сохраняет полезную информацию для будущих проектов. Регулярные отчеты и реестры рисков играют важную роль в процессе ИТ-управления.

Документирование следует вести с помощью коммуникации со стейкхолдерами. Ведь заинтересованные люди всегда должны поддерживать диалог о рисках и предпалагать последствия. Также важную роль играет проектный мереджер, который должен учитывать не только экономические затраты на инструменты и программное обеспечение, но предлагать самые эффективные из них. Программы отечественных разработчиков в области эффективного бизнес-анализа уже давно помогают в визуализации данных и управлении рисками, что делает информацию более доступной стейкхолдерам проекта.

Выводом исследования определим внедрение риск-менеджмента как части культуры проектного ИТ-управления. Предельно успешный мастер управления проектом вписывает в грамотную теоретическую модель практический опыт, что обеспечивает гармонизацию проекта с альтернативами неопределенности. Основными факторами качества, которые и релевантны и потребительны на современном рынке, являются стремление к обучению, готовность к новым подходам в управлении ресурсами и жесткой необходимостию к изменению. Полученный опыт анализа и применения синергии приведенных методов необходим для уменьшения риска неудач и крайне актуален для тех, кто горит желанием применить новый подход для реализации инновационных идей в свою жизнь или проект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверин, А.В. Основы управления проектами / А.В. Аверин, В.В. Жидиков, И.В. Корнева [и др.]; под ред. С.А. Полевого. — М.: Изд-во КноРус, 2020. — 258 с.
2. Анализ текущего уровня проектного управления в организации // Современные технологии управления. ISSN 2226-9339. — №3 (96). Номер статьи: 9614. Дата публикации: 26.12.2021. Режим доступа: https://sovman.ru/article/9614/.
3. Бакрунов Юрий Октавьевич, Васильева Елена Юрьевна Оценка риска инновационных проектов с применением метода дерева решений // Московский экономический журнал. 2022. №5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-riska-innovatsionnyh-proektov-s-primeneniem-metoda-dereva-resheniy (дата обращения: 20.12.2024).
4. Бельчик, Т.А. Проектное управление: учебно-методическое пособие / Т.А. Бельчик. — Кемерово: КемГУ, 2020. — 78 с.
5. Гельманова Зоя Салиховна, Саульский Юрий Николаевич, Иванова Александра Владимировна, Петровская Асия Станиславовна. Экономическая выгода и риски в стартапах и их роль в инновациях // In The World Of Science and Education. 2024. №15 декабрь ЭН1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-vygoda-i-riski-v-startapah-i-ih-rol-v-innovatsiyah (дата обращения: 27.12.2024).
6. Индикаторы инновационной деятельности: 2024: статистический сборник / В.В. Власова, Л.М. Гохберг, Г.А. Грачева и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: НИУ ВШЭ, 2024.
7. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Опубликованы информационные материалы о нацпроектах по 12 направлениям стратегического развития страны [Электронный ресурс]. URL: https://edu.gov.ru/press/1103/opublikovany-informacionnye-materialy-o-nacproektah-po-12-napravleniyam-strategicheskogo-razvitiya-strany/ (дата обращения: 01.04.2025).
8. Табакова, А.Ю. Использование нейронных сетей для развития бизнеса / А.Ю. Табакова, Е.В. Хроль // Формирование и реализация стратегии устойчивого экономического развития Российской Федерации: сборник статей XIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 08–09 декабря 2023 года. — Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. — С. 525–528. — EDN HPDVIO.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.02

ПРИВЕРЖЕННОСТЬ — КЛЮЧ К ДОСТИЖЕНИЮ ЦЕЛЕВЫХ ЦИФР АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ

ADHERENCE IS THE KEY TO ACHIEVE HYPERTENSION TARGET NUMBERS

Z. Ataeva
A. Osmanova
R. Huseynova
M. Kudayev

Summary. It is generally recognized that the most important factor determining low blood pressure control is nonadherence to antihypertensive therapy, which in turn determines the high percentage of uncontrolled arterial hypertension among patients. The review discusses the most common reasons for low treatment adherence. Particular attention was given to the physician's ability to eliminate barriers to achieving adherence and the importance of implementing coordinated programs to improve the prevention, detection, treatment, and control of arterial hypertension, as well as patient information. The review outlines an up-to-date view of the importance of combination antihypertensive therapy in the treatment of arterial hypertension and the application of modern treatment algorithms with the use of antihypertensive drugs with an extensive evidence base. Emphasis is placed on fixed antihypertensive drug combinations, the administration of which substantially improves adherence to therapy.

Keywords: controlled arterial hypertension, adherence, target blood pressure levels, compliance, combination therapy, fixed combinations.

Атаева Зульмира Наримановна
К.м.н., доцент, Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала
kzn1957@mail.ru
Османова Аида Вахаевна
К.м.н., доцент, Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала
aida_osmanova_1907@mail.ru
Гусейнова Резеда Камильевна
К.м.н., доцент, Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала
rezeda600512@mail.ru
Кудаев Магомед Тагирович
Д.м.н., профессор, Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала
kudaev54@mail.ru

Аннотация. Общепризнанным важнейшим фактором, определяющим низкий уровень контроля артериального давления (АД), является несоблюдение приверженности к антигипертензивной терапии (АГТ), что, в свою очередь, определяет высокий процент неконтролируемой артериальной гипертензии (АГ) среди пациентов. В обзоре обсуждаются наиболее частые причины низкой приверженности к лечению. Особенное внимание уделено возможностям врача устранять барьеры на пути к достижению приверженности и важности внедрения скоординированных программ по улучшению профилактики, выявления, лечения и контроля АГ, а также информирования пациентов. В обзоре изложен современный взгляд на значимость комбинированной АГТ в лечении АГ и применения современных алгоритмов лечения с применением антигипертензивных препаратов (АГП) с обширной доказательной базой. Акцентируется внимание на фиксированных комбинациях (ФК) АГП, применение которых существенно повышает приверженность к терапии.

Ключевые слова: контролируемая АГ, приверженность, целевые уровни АД, комплаентность, комбинированная терапия, ФК.

В последние годы огромное значение придают приверженности к лечению АГ, как одному из ключевых факторов при достижении целевых уровней АД. Основанием для этого явились данные множества исследований, которые проводились в нашей стране и за рубежом. По данным целого ряда источников, приверженность лечению у пациентов с АГ не превышает 50–60 %, при этом около половины больных, особенно с впервые выявленной АГ, в течение года прекращают прием АГП. При наблюдении на протяжении 5–10 лет только около 40 % пациентов продолжают следовать врачебным рекомендациям [28], 77 % пациентов с АГ не достигают эффективного контроля АД [1], до 50 % пациентов прекращали лечение назначенное врачом [33, 34], а результаты Российского многоцентрового исследования РЕЛИФ показали, что 58,2 % пациентов принимали препараты только при повышении АД, причем из них 63,6 % принимали лекарственные средства (ЛС) не каждый день, 39,7 % прекращали лечение после нормализации АД, 32,9 % пропускали прием по забывчивости, и только 3,3 % пропускали прием лекарств [35]. Растет число доказательств того, что низкая приверженность к лечению в дополнение к инерции врача (т.е. в отсутствие терапевтического действия, когда АД пациента не контролируется) следствие плохого контроля АД [3]. Неконтролируемая АГ является значительной и пока

не полностью преодолимой проблемой здравоохранения. Существенная ее причина кроется в низкой приверженности к терапии, повышения которой возможно достичь при условии качественного взаимодействия врача с пациентом и следования современным рекомендациям по ведению АГ. Эффективный и длительный контроль АД посредством АГП приводит к снижению риска заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) [26, 46]. Важным аспектом, который оказывает положительное влияние на готовность пациента к терапии, является самостоятельный контроль АД. Контроль АД — наиболее экономичный и простой метод профилактики развития ИБС и снижения смертности. [10, 11]. Рандомизированное исследование бельгийских ученых показало, что приверженность лечению существенно выше у больных, которые регулярно дома измеряют показатели АД [13]. Авторы объясняют такую связь тем, что обучение пациента измерению АД способствует установлению контакта с врачом и активному вовлечению больного в процесс лечения. Результаты российских исследований также подтверждают, что постоянный контроль АД в домашних условиях значительно повышает приверженность лечению [2, 25].

Таким образом, в настоящее время общепризнано, что эффективность лечения АГ зависит не только от своевременной постановки диагноза и подбора адекватной терапии, но и от соблюдения больным врачебных назначений. Вместе с тем принимать АГП необходимо постоянно в течение всей жизни, что у многих пациентов вызывает определенные трудности. Поэтому проблема приверженности к лечению в терапевтической и кардиологической практике является особенно актуальной.

Под приверженностью к лечению понимают соответствие поведения пациента рекомендациям врача, включая прием препаратов, диету и/или изменение образа жизни. Приверженность к лечению предполагает такие понятия, как удержание на терапии (упорство) и комплаентность. Удержание на терапии определяется длительностью периода получения медикаментозной терапии и оценивается количеством дней, в течение которых пациент получал терапию, или процентом больных, продолжающих лечение на протяжении определенного периода [9].

Комплаентность — показатель приверженности к медикаментозной терапии (соблюдение дозы, кратности и режима приема). Комплаентность оценивается индексом использования препарата, представляющим собой частное от деления количества дней приема полной дозы препарата (или его количества, выданного больному) на длительность (в днях) всего периода исследования (наблюдения). Если индекс использования препарата достигает 80 % и более, комплаентность считается приемлемой.

В терапевтической практике для оценки приверженности больного лечению наиболее часто применяется опросник «Мориски-Грин-Левине», включающий четыре вопроса:

1. Вы когда-нибудь забывали принять препараты?
2. Не относитесь ли Вы иногда невнимательно к часам приема ЛС?
3. Не пропускаете ли Вы прием препаратов, если чувствуете себя хорошо?
4. Если Вы чувствуете себя плохо после приема ЛС, не пропускаете ли Вы следующий прием?

Комплаентными считают больных, набравших 4 балла, некомплаентными — менее 3 [36]. Использование этого простого и доступного метода поможет практическому врачу обратить внимание на тех пациентов, которым необходимо уделить дополнительное внимание с целью повысить их комплаентность [37,38].

Причинами низкой приверженности пациентов лечению могут быть демографические факторы. Самой проблемной группой являются пожилые люди, так как вероятность самостоятельной отмены препаратов у них в два раза выше, чем у пациентов моложе 60 лет. Отрицательно на приверженность терапии влияют мужской пол, низкий социально-экономический статус и уровень образования. Низкая приверженность зависит от особенностей течения заболевания. Так, пациенты с 3 степенью АГ более склонны к регулярному приему АГП, чем больные с менее высокими показателями АД. Кроме того, низкая приверженность к лечению по данным ряда исследователей, преимущественно у молодых людей, у которых подъем АД не сопровождается неприятными симптомами. Напротив, пациенты с АГ, осложненной ишемической болезнью сердца (ИБС), хронической сердечной недостаточностью (ХСН) и хронической болезнью почек (ХБП), более привержены АГТ. Результаты исследований показывают, что приверженность терапии зависит также от продолжительности заболевания. Так, готовность следовать назначениям и рекомендациям врача уменьшается с увеличением длительности АГ [2,28]. Установлено, что неправильный подбор препаратов, сложная схема приема, появление побочных эффектов, высокая стоимость лекарств негативно влияют на готовность пациента выполнять рекомендации врача. Склонность к выполнению врачебных назначений снижается при приеме нескольких препаратов и несколько раз в сутки [2].

Все вышеизложенное послужило для выработки новой стратегии для повышения приверженности пациентов к лечению АГ, которая заключается в необходимости действия одновременно на всех уровнях: врача, пациента, производства препаратов и системы здравоохранения [11]. Что касается уровня врача, то доказано, что пациенты не стремятся выполнять рекомендации врача,

если они не информированы о своем заболевании и его осложнениях. Поэтому в данном аспекте основные усилия должны быть направлены на создание устойчивых и качественных отношений врач–пациент, на предоставление пациенту полной информации о заболевании и его осложнениях с целью создания мотивации к строгому и регулярному выполнению профилактических мероприятий и приему препаратов. Для повышения мотивации пациента необходимо привлечь его лечебный процесс и к принятию медицинского решения. Так как, без активного участия и желания пациента лечиться, трудно добиться решения долгосрочных задач, которые предстоят пациенту. Одним из путей формирования партнерства «врач—пациент» является обучение пациентов, в частности в школах здоровья для пациентов с АГ, которые представляют собой медицинскую профилактическую технологию, основанную на совокупности индивидуального и группового воздействия на пациентов и направленную на повышение уровня их знаний, информированности и практических навыков по рациональному лечению АГ, повышению приверженности пациентов к лечению и для профилактики осложнений заболевания, улучшению прогноза и повышению качества жизни. Кроме того, для решения проблемы повышения приверженности к терапии врач должен назначать современный АГП с уменьшенной кратностью приема в течение суток, обладающий длительностью действия не менее 24 часов. Для этого можно использовать ФК АГП с длительным периодом полувыведения, препараты с постепенным высвобождением медикамента, которые достаточно принимать 1 раз в сутки. Экспериментально установлено, что пациенты с АГ более охотно соблюдают назначения врача при переходе на режим терапии с ФК АГП и приеме препаратов 1 раз в сутки [24].

К настоящему времени в мире накоплена большая доказательная база по изучению эффективности, переносимости, преимуществ в отношении влияния на состояние органов-мишеней и показатели сердечно-сосудистого риска (ССР) различных двухкомпонентных комбинаций АГП [47]. Комбинированная терапия, по сути, на сегодняшний день является приоритетным направлением в лечении больных АГ, что нашло отражение в новых Европейских и Российских рекомендациях по гипертонии [6, 7,14, 22, 41].

Комбинации из двух и более гипотензивных препаратов рекомендуется назначать пациентам уже на этапе стартовой терапии, в первую очередь больным с высоким ССР, т. е. больным с наличием трех и более факторов риска, с субклиническим поражением органов мишеней, а также тем, у кого уже имеются ассоциированные клинические состояния. Преимущество комбинированной терапии — возможность физиологического и фармакологического синергизма между препаратами разных классов, что может лежать в основе более выраженного снижения АД и лучшей переносимости. Комбинированная терапия позволяет также подавить контррегуляторные механизмы повышения АД. Все преимущества комбинированной терапии присущи только рациональным комбинациям АГП. Рациональная комбинация ЛС подразумевает использование препаратов из различных классов с разным механизмом действия с целью получения дополнительного гипотензивного эффекта и снижения риска развития нежелательных явлений. Сочетание препаратов с различным механизмом действия также может уменьшить изменения в тканях, по-разному влияя на механизмы повреждения органов-мишеней: сердца, сосудов и почек. К рациональным комбинациям относятся: блокаторы ренинангиотензинальдостероновой системы (БРААС) +диуретик (Д); БРААС+антагонист кальция (АК) дигидропиридиновый; АК+бета-блокатор (ББ); АК+Д; ББ+Д.

Таким образом, комбинированная терапия повышает приверженность пациентов к лечению, воздействуя на различные патогенетические механизмы АГ усиливает антигипертензивный эффект, улучшает долговременный контроль АД, уменьшает терапевтическую инертность врачей, снижает риск сердечно-сосудистых осложнений (ССО) (ретроспективные исследования), нейтрализует побочные эффекты, лучше переносится пациентами и использование низких доз экономически выгодно [12, 15, 23, 24, 30, 42].

Одним из самых доступных и эффективных путей повышения приверженности и, соответственно, эффективности лечения, улучшения прогноза и качества жизни пациента является назначение современных ФК АГП с удобным режимом дозирования. ФК, всегда является рациональной, самая эффективная стратегия достижения и поддержания целевого уровня АД, обеспечивает лучшее органопротективное действие и уменьшение риска ССО, позволяет сократить количество принимаемых таблеток, экономически выгодно, что существенно повышает приверженность пациентов к лечению [3, 5, 6, 16, 27, 32, 39, 42]. Результаты лечения повышаются при ежедневном приеме препаратов без существенных отклонений от дозы и режима приема, следовательно и приверженность к терапии повышается [8]. Это обстоятельство можно существенно улучшить за счет упрощения самой схемы лечения и введения специальных приемов, помогающих больному не пропускать прием очередной дозы. В этой связи следует отметить одно из центральных событий Европейского конгресса кардиологов 2018 г., где стало принятие новой версии совместных Рекомендаций ESC/ESH по диагностике и лечению АГ и предложена «Стратегия одной таблетки» для улучшения контроля АД и как предпочтительный метод лечения АГ для большинства пациентов, предпочтительное использование тера-

пии комбинации двух препаратов в качестве стартовой терапии АГ у большинства пациентов, упрощенные алгоритмы назначения препаратов с предпочтительным использованием БРААС в комбиниции с АК или тиазидами (ТД) или тиазидоподобными диуретиками (ТПД) в качестве основной стратегии лечения для большинства пациентов, использование ББ на любом этапе при наличии дополнительных показаний. Основными принципиальными изменениями стали новые целевые значения АД у пациентов получающих АГТ, необходимость выявления низкой приверженности к лечению, выраженный акцент на важности оценки приверженности к лечению как основного фактора контроля АГ, ключевая роль важности медсестер и фармацевтов в длительном лечении АГ, а также использование диапозона целевого АД у пациентов получающих АГТ, с целью четкого обозначения рекомендованных целевых цифр АД и снижения вероятности развития побочных эффектов при лечении АГ, с учетом возраста пациента и наличия сопутствующих заболеваний. Необходимость более жесткого контроля АД и достижения более низких целевых уровней определила изменение и стратегии стартовой АГТ. Для большинства пациентов начальная терапия предусматривает использование двойной комбинации АГП. Монотерапия рассматривается только в двух клинических ситуациях: у пациентов с первой степенью АГ, имеющих низкий ССР и у очень пожилых или синдромом старческой астении [21, 29, 31]. Сделан акцент на преимущественном использовании у большинства пациентов ФК АГП, что способствует более эффективному контролю АД и повышению приверженности больного к проводимой терапии. Представлены ряд алгоритмов лечения различных категорий пациентов с АГ. При АГ I и II стадии и АД > 150/90 мм рт. ст. у пациента АГ с ССР выше умеренного тактика ведения больного аналогична и тактике ведения пациента, имеющего ПОМ или сопутствующие сахарный диабет, цереброваскулярные заболевания или заболевания периферических артерий. Для всех этих категорий необходимо на первом этапе лечения использование БРААС в комбинации с АК или ТД или ТПД. В качестве рекомендованной стратегии на втором этапе рассматривается применение тройной, так же преимущественно ФК АГП — одного из БРААС+АК+ТД. В том случае, когда не удается достигнуть контроля АД и на втором этапе, у пациента следует рассматривать АГ, как резистентную и добавить четвертый АГП. Стандартно им является спироналоктон или эплеренон, кроме него могут быть использованы другие диуретики, альфа-блокатор или БАБ [11]. При ИБС предложено приоритетное использование в качестве начальной терапии ФК БРААС и ББ, с учетом возможного дополнительного влияния обоих классов препаратов на прогноз больного с ИБС и антиишемических эффектов, в том числе контроля ЧСС, при использовании ББ. В качестве терапии первой линии могут быть использованы и обсуждаемые ранее ФК БРААС и АК, где антиишемические эффекты обеспечиваются амлодипином или другими дигидропиридинами. У пациентов, имеющих абсолютные противопоказания к применению БРААС, могут быть рассмотрены комбинации АК и ТД, АК дигидропиридинового ряда и ББ, ББ и Д. На втором этапе также рекомендована тройная комбинация АГП. Еще одним важным акцентом алгоритма ведения больных с сочетанием АГ и ИБС является рекомендация начала стандартной АГТ уже на уровне высокого нормального АД [11]. Особенностями алгоритма ведения больных с сочетанием АГ и фибрилляции предсердий (ФП) является также приоритетное использование на первом шаге БРААС и ББ или недигидропиридинового АК, как препаратов, решающих задачу контроля ЧСС. При наличии противопоказаний к этим классам препаратов возможна комбинация ББ и дигидропиридинового АК. На втором шаге к выбранной стратегии первой линии рекомендуется добавить диуретик. В этом алгоритме нет акцента на обязательное использование ФК, как на первом, так и на втором шаге. Наличие АГ и ФП является фактором риска инсульта у больных, в связи с чем, таким пациентам показаны оральные антикоагулянты [42]. Алгоритм ведения больных с сочетанием АГ и сердечной недостаточности с низкой фракцией выброса (СН-нФВ) опирается на рекомендации по ведению больных с СН и использование групп препаратов, улучшающих выживаемость больных с СН-нФВ [43, 44]. В этом алгоритме также не звучит рекомендация по использованию АГТ в составе одной таблетки. Это единственная клиническая ситуация, где рекомендовано на первом шаге применение тройной терапии ИАПФ при непереносимости ИАПФ — АРА или валсартаном+сакубитрилом, ББ или антагонистом альдостерона (или комбинация). Тиазидные или петлевые диуретики назначаются на втором шаге в случае недостаточной антигипертензивной эффективности (АГЭ) применения комбинации иАПФ/валсартана+сакубитрила/АРА, ББ и антагонистов альдостерона. На третьем шаге при недостаточной АГЭ вышеуказанной схемы рекомендуется назначение амлодипина или фелодипина. Алгоритм ведения больных с АГ в сочетании с ХБП во многом аналогичен алгоритму, предложенному для большинства больных АГ. Основным отличием является введение в перечень рекомендованных диуретиков на первом шаге лечения петлевого диуретика. Это обусловлено тем, что при снижении СКФ менее 30 мл/мин/1,72м^2 ТД становятся неэффективными поэтому в лечении может быть использован только петлевой диуретик. Кроме того, следует иметь ввиду, что назначение антагонистов альдостерона абсолютно противопоказано при СКФ<30 мл/мин/1,73 м^2 из-за повышения риска гиперкалиемии и ухудшения функции почек [42]. Создание отдельных алгоритмов для различных клинических ситуаций позволяет индивидуализировать терапию АГ и добиться наиболее эффективного длительного контроля АД посредством АГП и снизить инертность врачей и риск заболеваемости и смертности от ССЗ.

Консервативной тактика контроля АД пациентов пожилого возраста, рекомендованная в настоящее время способствует повышению приверженности к лечению. Так предлагается при назначении АГТ ориентироваться не на хронологический, а на биологический возраст, предполагающий оценку выраженности старческой астении, т.е. хрупкости пациентов, способности к самообслуживанию и переносимости терапии. Решить проблему забывчивости пациентов помогает использование таблетниц с цветными отсеками для разных лекарств, блистеров с маркировкой по дням недели, электронных таблетниц, цифровых средств напоминания и специальных мобильных приложений. Также большое значение для повышения приверженности имеют значение системы мониторинга, финансовая поддержка, софинансирование, повышение доступности ЛС, поддержка семьи, использование различных моделей телемедицинских технологий [18, 19, 20,45, 46].

Таким образом, применение указанных методов в комплексе помогает выстроить диалог, вовлечь пациента в процесс лечения, установить с ним доверительные отношения, что в конечном итоге приводит к повышению приверженности к терапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рспространенность артериальной гипертонии, охват лечением и его эффективность в Российской Федерации (данные наблюдательного исследования ЭССЕ-РФ-2/ Ю.А. Баланова [и др.] // Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии. 2019. №15(4). С. 450–466. https://doi.org/10.20996/1819-6446-2019-15-4-450-466
2. Мачильская О.В. Факторы, определяющие приверженность к лечению больных артериальной гипертензией (обзор литературы) // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2016. № 9 (3). С. 55–65. https://doi.org/10/17116/kardio/20169355-65
3. ESH-ESC Guidelines Committee. 2018 ESH-ESC guidelines for the management of arterial hypertension/ B. Williams [et al.] // J Hypertens 2018 and Eur Heart J. 2018, in press. www.escardio.org/guedlines
4. Free versus Fixed Combination Antihypertensive Therapy for Essential Arterial Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis/ G. Samir [et al] //The journal of Clinical Hypertension. 2011. №.12. Vol. 13 P. 898–909.
5. Compliance, safety, and effectiveness of fixed-dose cominations of antihypertensiv agents: a meta-analysis/ Gupta, K. Ajay, Arshad, and Neil R. Poulter// Hypertension. 2010. №2. Vol.55. P.399–407.
6. Effects of fixed combination of perindopril and indapamide on macrovascular and microvascular outcomes in patients with type 2 diabetes mellitus (the ADVANCE trial): a randomized controlled trial/Patel A., ADVANCE Collaborative Group// Lancet. 2007. №370. P.829–840.
7. Bulpitt C. The Hypertension in the very Elderly Trial (HYVET). Rational, methology and comparison with previous trials//Drugs Aging. 1994. № 5: 171–83.
8. G.Hess. Medication Possession Ratio, MPR// Pharmacy & Therapeutics. 2008.№ 33. P 652–666.
9. Medication adherence using drug availability ratio and proportion of days of medication use among elderly patients with diabetes attending a tertiary care hospital in Puducherry / K. Prabhu, K. J. Salve, N. Saravanbavan, K. Manimekalai //Biomed Pharmacol. J. 2023. P.16. (1).
10. Европейские рекомендации по профилактике сердечно-сосудистых заболеваний в клинической практике (пересмотр 2016)// Российский кардиологический журнал. 2017. №6. (146). С.7–85. http://dx.doi.org/10.15829/1560-4071-2017-6-7-85
11. 2018 ESC/EAH Guidelines for the management of arterial hypertension// Eur.Heart J. 2018. Vol. 39. Ed. 33. P. 3021–3104.
12. Practice Guidelines for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension and the European Society of Cardiology: ESH/ESC Task Force for the Management of Arterial Hypertension 2018./ B Williams [et al.] //J. Hypertens. 2018. №36. (12) . C. 2284–2309. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339.
13. Vrijens B., Goetghebeur E. Comparing compliance patterns between randomized treatments. Control Clin Trials. 1997 Jun;18(3):187-203. doi: 10.1016/s0197-2456(96)00 235-8. PMID: 9204220. (дата обращения: 24.03.2024)
14. Рекомендации ESH и ESC 2013 г. по лечению артериальной гипертонии // J. of Hypertension. 2013; 31(7):1281–1357.
15. The Sprint Research Group (2015) A Randomized Trial of Intensive versus Standard Blood Pressure Control// N. Engl. J. Med. №373. P. 2103-2116. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1511939
16. Telmisartan, ramipril, or both in patients at high risk for vascular events. ONTARGET investigators / S. Yusuf [et al.] // N. Engl. J. Med. 2008. № 15. V. 358. P. 1547–1559. doi: 10.1056/NEJMoa0801317. Epub 2008 Mar 31.
17. Приверженность пациентов к гипотензивной терапии / https://www.acare.ru/ дата обращения 24 марта 2025 г.
18. Казанбиев Н.К., Магомедов А.З., Атаева З.Н., Ахмедова Д.А., Байсугуров М.Ш., Казанбиев Д.Н. Осложнения гипертонии у пожилых и возможности лечения // Актуальные проблемы геронтологии. М. 1999. С. 95–97.
19. Атаева З.Н., Казанбиев Н.К., Джалилова Д.А., Османова А.В., Гусейнова Р.К., Эзиляева М.Р. Артериальная гипертония и пожилой возраст. // Актуальные вопросы кардиологии: новое в диагностике, терапии и реабилитации: материалы республиканской научно-практической конференции. Махачала. 2006. С.79–82.
20. Казанбиев Н.К., Атаева З.Н., Ахмедова Д.А. Особенности течения и лечения артериальной гипертензии у пожилых // Здоровье пожилого пациента. Состояние и пути совершенствования гериатрической помощи: материалы Всероссийской конференции гериатров. Сборник научных трудов. Махачкала: Изд-во «Лотос». 2008. С. 223–225.
21. Эффективность азилсартана медоксомила (ЭДАРБИ) при артериальной гипертензии З.Н. Атаева [и др.] // Достижения и проблемы современной науки: сборник научных трудов XXXXIII Международной научно-практической конференции. Научный журнал «Globus». 2019. №6. Т. 39. С. 23–29.

22. Кудаев М.Т., Курбанова И.М., Магомедов А.З., Атаева З.Н., Ахмедова Д.А., Гаджиева Т.А., Османова А.В., Гусейнова Р.К., Амбоян А.С., Эзиляева М.Р., Бейбалаева А.М. Обоснование назначения бета-адреноблокаторов и ингибиторов ангиотензинпревращающего фермента при артериальной гипертонии в климатических условиях прибрежного города // Актуальные вопросы клинической медицины: материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, памяти заслуженного деятеля науки РД, заслуженного врача РФ и РД, народного врача РД, профессора Хархарова М.А. Махачкала. 2023. С.45–51. №1(105), 2014, с.50
23. Рекомендации по лечению артериальной гипертонии, ESH/ESC 2013/ G. Mancia [et al.] // Российский кардиологический журнал. 2014. Т. 105. №1. С.50.
24. М.В. Леонова [и др.] / Результаты фармакоэпидемиологического исследования артериальной гипертонии ПИФАГОР IV: приверженность врачей // Российский кардиологический журнал. 2015. №1. С. 59–66. https://doi.org/10.15829/1560-4071-2015-1-59-66
25. Осведомленность, лечение и контроль артериальной гипертензии в популяции (обзор литературы) / Е.В. Маздорова, Б.А. Аскетова, А.Н. Рябиков, С.К. Малютина // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2024. Том 13. №4S. С. 168–182.
26. Приверженность к лечению и ее роль в решении проблемы неконтролируемой артериальной гипертензии / В.И. Подзолков [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2023. Т. 22. №4:3547. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3547
27. Оптимизация контроля артериального давления и органопротекции с помощью фиксированной комбинации лизиноприла, амлодипина и индапамида у пациентов с артериальной гипертензией. / С. В. Недогода [и др.] // Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии. 2020. Т.16. №6. С.931–937. https://doi.org/10.20996/1819-6446-2020-11-03.
28. Козловский В.И., Симанович А.В. Приверженность к терапии у пациентов с артериальной гипертензией II степени: обзор литературы и собственные данные // Вестник ВГМУ. 2014. Т. 13. №2. С. 6–16. https://cyberleninka.ru/article/n/priverzhennost-k-terapii-u-patsientov-s-arterialnoy-gipertenziey-ii-stepeni-obzor-literatury-i-sobstvennye-dannye (дата обращения: 24.03.2025)
29. Применение азилсартана медоксамила (эдарби) при артериальной гипертензии / З.Н. Атаева, М.Т. Кудаев, С.Г. Шамилова, Т.А. Гаджиева // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2018. №01. С. 72-75.
30. Эффективность комбинированной терапии антагонистами кальция и ингибиторами ангинтензинпревращающего фермента у больных артериальной гипертонией / Р.К. Гусейнова [и др.] // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2019. №05. С. 134–140.
31. Эффективность монотерапии телмисартана при артериальной гипертензии и хронической обструктивной болезни легких / З.Н. Атаева [и др.] // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2021. №04. С. 167–171. DOI 10.37882/2223-2966.2021.04.04
32. Выбор между фиксированными дозированными комбинациями антигипертензивных средств и их свободными комбинациями в лечении артериальной гипертензии/ О.С. Левченкова, Р.Р. Галимулина, Б.Р. Комев, Загнет К.Д. //Архивъ внутренней медицины. 2024. Т.14. №5. С.325–338. https://doi.org/10.20514/2226-6704-2024-14-5-325-338. EDN: HUEEFQ
33. Конради, А.О., Полуничева Е.В. Недостаточная приверженность к лечению артериальной гипертензии: причины и пути коррекции //Артериальная гипертензия. 2004. Т.10. №3. С.137–143.
34. Pruijm M.T., Maillard M.P., Burnier M. Приверженность пациентов лечению и выбор антигипертензивной терапии: фокус на лерканидипин. Service of Nephrology and Hypertension, Department of Medicine, University Hospital, Lausanne, Switzerland // Vasc. Heal Risk Management. 2008. Vol. 4. №6. P. 1159–1166.
35. Приверженность к лечению сердечно-сосудистых заболеваний: проблема врачей и пациентов / Г.В. Погосова, И.Е. Колтунов, Г.Ю. Мелик-Оганджанян, О.Ю. Соколова // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2009. Т. 8. № 4. С. 98–102.
36. Morisky D. E., Green L. W., Levine D. M. Concurrent and predictive validity of selfreported measure of medical adherence // Med Care. 1986. Vol.24. №1. P. 67–73.
37. Проблемы приверженности лечению коморбидных пациентов с ревматоидным артритом / Н.М. Никитина [и др.] // Архивъ внутренней медицины. 2020. Т.10. №5. С. 372–381. https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-priverzhennosti-lecheniyu-komorbidnyh-patsientov-s-revmatoidnym-artritom (дата обращения: 24.03.2024)]
38. Дюсенова Л.Б., Пивина Л.М. Современные методы определения приверженности лечению при артериальной гипертензии // Вестник Казахского Национального медицинского университета. 2017. № 3. С. 32–35. https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-opredeleniya-priverzhennosti-lecheniyu-pri-arterialnoy-gipertenzii (дата обращения: 24.03.2024)]
39. B Sherrill, M Halpern, S Khan, J Zhang, S Panjabi Single-Pill vs Free-Equivalent Combination Therapies for Hypertension: A Meta-Analysis of Health Care Costs and Adherence The Journal of Clinical Hypertension 13 (12), 898–909.
40. Effects of fixed combination of perindopril and indapamide on macrovascular and microvascular outcomes in patients with type 2 diabetes mellitus (the ADVANCE trial): a randomized controlled trial/ A. Patel [et al.] //Lancet. 2007. №370. P. 829–840.
41. 2021. Рекомендации ESC по профилактике сердечно-сосудистых заболеваний в клинической практике // Российский кардиологический журнал. 2022. Т.27.№7:5155. https://doi.org/10.15829/1560-4071-2022-5155
42. Клинические рекомендации 2024. Артериальная гипертензия у взрослых. / Ж.Д. Кобалава [и др.] // Российский кардиологический журнал. 2024. Т.29. №9:6117. doi: 10.15829/ 1560-4071-2024-6117. EDN GUEWLU
43. Артериальная гипертензия у взрослых. Клинические рекомендации 2020./ Кобалава Ж.Д. [и др.] // Российский кардиологический журнал. 2020. Т.25.№3:3786. https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3-3786
44. Клинические рекомендации 2024. Хроническая сердечная недостаточность / Галявич А.С. [и др.] // Российский кардиологический журнал. 2024. Т. 29. №11:6162. doi: 10.15829/1560-4071-2024-6162.
45. Клиническая эффективность различных моделей телемедицинских технологий у больных с артериальной гипертензией/ Д.С. Комков [и др.] //Профилактическая медицина. 2020. Т.23. №4. С.27–35.

46. Ощепкова, Е.В. Исаева Л.Г. Низкая приверженность больных артериальной гипертонией к лечению: подходы к ее улучшению // Атмосфера. Кардиология: Журнал для практикующих врачей. 2003. № 3. С. 33–36.
47. Атаева З.Н. Гипотензивные и гемодинамические эффекты раствора Форидона у больных артериальной гипертензией: Клин. исследование: автореф. на соиск. ученой степ. канд. мед. наук: 14.00.05 — внутренние болезни/ Курский гос. мед. ун-т. Махачкала, 1997. 24 с.
48. Гусейнова Р.К. Гипотензивные и гемодинамические эффекты сочетания антагонистов кальция второго поколения и ингибиторов ангиотензинпревращающего фермента.: дис. . . . канд. мед. наук: 14.00.05-внутренние болезни. Махачкала, 2002. 152 с.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.03

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ АППЕНДЭКТОМИИ ПРИ СОПУТСТВУЮЩЕЙ МЫШЕЧНОЙ ДИСТРОФИИ

CLINICAL CASE OF APPENDECTOMY IN CONCURRENT MUSCULAR DYSTROPHY

O. Bogonina
R. Mamedov
N. Senzhapova
G. Yangurazova

Summary. Muscular dystrophy is a rare pathology that is characterized by progressive muscle degeneration and a decrease in the strength of muscle contractions. This disease has a genetic basis and affects both men and women to varying degrees.
The article presents the relationship between muscular dystrophy and the use of drugs for anesthesia, during surgery — appendectomy. The interest of this study is related to the mechanism of action of drugs for anesthesia on a patient with concomitant pathology — muscular dystrophy. Due to the fact that this pathology causes a decrease in the force of muscle contraction, which, in turn, is associated with a deficiency of proteins involved in the contraction and maintenance of the cytoskeleton of muscle fiber, the adverse effect of Sibazon, Ketamine, as well as the potent opioid analgesic in the form of Fentanyl on the patient's body was analyzed. It manifested itself in the form of inhibition of muscle innervation of the central genesis of vital organs. The material we are considering will be interesting and useful to specialists leading clinical practice, as well as students of medical higher educational institutions.

Keywords: case report, muscular dystrophy, myasthenia gravis, appendicitis, laparoscopy, dystrophin-associated glycoprotein complex, anesthesia.

Богонина Ольга Владимировна
Кандидат медицинских наук, доцент;
врач-хирург хирургического отделения № 2 Пензенский Государственный Университет;
ГБУЗ «Клиническая больница № 6 им. Г.А. Захарьина»
olga.bogonina@mail.ru
Мамедов Руслан Маилович
Врач-стоматолог ООО «КИДС СМАЙЛ»
gifursin@yandex.ru
Сенжапова Нурия Ильясовна
Пензенский Государственный Университет
senzhapovan@bk.ru
Янгуразова Галия Равилевна
Пензенский Государственный Университет
galia.yangurazowa@yandex.ru

Аннотация. Мышечная дистрофия — редко встречающая патология, которая характеризуется прогрессирующей мышечной дегенерацией и снижением силы мышечных сокращений. Это заболевание имеет генетическую основу и в разной степени им страдают как мужчины, так и женщины.
В статье представлена связь мышечной дистрофии и применения препаратов для наркоза при проведении операции — аппендэктомии. Интерес данного исследования связан с механизмом действия препаратов для наркоза на пациента с сопутствующей патологией — мышечной дистрофией. В связи с тем, что данная патология вызывает снижение силы сокращения мышц, которая, в свою очередь, связана с дефицитом белков, участвующих в сокращении и поддержании цитоскелета мышечного волокна, было проанализировано неблагоприятное действие Сибазона, Кетамина, а также сильнодействующего опиоидного анальгетика в виде Фентанила на организм пациента. Оно проявилось в виде угнетения мышечной иннервации центрального генеза жизненно важных органов. Рассматриваемый нами материал будет интересен и полезен специалистам, ведущих клиническую практику, а также студентам медицинских высших учебных заведений.

Ключевые слова: клинический случай, мышечная дистрофия, миастения, аппендицит, лапароскопия, дистрофин-ассоциированный гликопротеиновый комплекс, наркоз.

Актуальность

Мышечная дистрофия — патология, характеризующаяся прогрессирующей мышечной дегенерацией и снижением силы мышечных сокращений. Как группа заболеваний, данная патология демонстрирует генетическую, биохимическую и клиническую гетерогенность, которая отражает множество молекулярных механизмов возникновения мышечных дистрофий. По данным литературы данная патология формируется за счет мутаций более чем в 40 генах.

Среди мышечных дистрофий, развивающихся у взрослых, выделяют: миотоническую дистрофию, мышечную дистрофию Эмери — Дрейфуса, лицелопаточно-плечевую мышечную дистрофию, дистальную мышечную дистрофию, мышечную дистрофию конечностей и пояса.

В отдельную категорию относят мышечные дистрофии Дюшенна и Беккера, которые представляют дистрофинопатии — патологии, проявляющиеся клинической симптоматикой мышечной дистрофии, связанной с повреждением генов, кодирующих белок-дистрофин, расположенный на внутренней поверхности сарколеммы на протяжении всего мышечного волокна. Данный белок формирует ДАГ-комплекс (дистрофин ассоциированный гликопротеиновый комплекс), в свою очередь,

соединяющий между собой внутриклеточные структуры с внеклеточным матриксом, что позволяет мышечному волокну сокращается, без повреждения мышечной мембраны. Данные формы мышечных дистрофий формируются вследствие мутаций в Х-хромосоме в р21 локусе. В результате, это приводит к извращенной транскрипции, а как следствие неверному синтезу дистрофина. ДАГ-комплекс дезинтегрируется, отсутствие дистрофина приводит к тому, что сарколемма не выдерживает акта цикличного сокращения-расслабления мышечного волокна и формируются разрывы. Дестабилизация и разрыв мышечной мембраны способствует выходу из клетки ионизированного кальция, что повышает его концентрацию в межклеточном веществе и вызывает некроз мышечной ткани. *Миодистрофия Дюшенна* — заболевание со злокачественным течением и летальным исходом. Болеют представители мужского пола. Заболевание передается по аутосомно-рецессивному типу. *Миодистрофия Беккера* имеет менее злокачественное течение. Встречается как у детей, так и у взрослых представителей мужского пола. Представляет собой мышечную дистрофию конечностей и пояса со специфическим клиническим симптомом в виде гипертрофии мышц голени. При тяжелом течении данной миодистрофии формируются кардиомиопатии и поражения дыхательных мышц.

Конечностно-поясная мышечная дистрофия — заболевание, передающееся как по аутосомно-доминантному типу, с повреждением локусов 5q, 1q11-q21, 3p25, в таком случае заболеваемость будет одинаково часто встречаться как у мужчин, так и у женщин. Также возможна передача данного заболевания по аутосомно-рецессивному типу с повреждением локусов 15q15, 2p13, 13q12, 17q12-21, 4q12, 5q33-34. Патогенетической основой формирования данной мышечной дистрофии будет являться нарушение белков, входящий в состав дистрофин-ассоциированного гликопротеинового комплекса, например, таких как ламин В1, кавеолин-3, кальпаин-3. Клиническая симптоматика конечностно-поясной мышечной дистрофии характеризуется дистальной мышечной гипокинезией, не вовлекая в дистрофический процесс лицевую мускулатуру. Также установлена склонность к развитию нарушений сердечной деятельности и сократительной активности наружной дыхательной мускулатуры. Главным дифференциальным признаком между конечностно-поясной мышечной дистрофией и миодистрофией Беккера является резко сниженная концентрация дистрофина у последнего.

Миодистрофия Эмери Дрейфуса — заболевание, передающееся по Х-сцепленному рецессивному типу. Патологии подвергаются представители мужского пола. Данное заболевание имеет специфическое клиническое проявление в виде ранней контрактуры разгибателей шеи, двуглавой мышца плеча, сгибателей пальцев.

Миодистрофия лицелопаточно-плечевая — заболевание, передающееся по аутосомно-доминантному типу, характеризующееся видимой гипотрофией и гипокинезией мышечной ткани в проксимальных отделах тела, например таких, как лицевая область, плечевой пояс, верхняя конечность. По мере прогрессирования заболевания в дегенеративный процесс вовлекаются мышцы нижней конечности, особенно формируется слабость малоберцовой мышцы, а также формируется слабость передней грудной стенки.

Мидистрофическая миопатия — заболевание, передающееся по аутосомно-доминантному типу. Одинаково часто поражение встречается у мужчин и у женщин. При типичной форме характеризуется слабостью мышц орофациальной области, а также миотонией дистальных частей тела. Реже сопровождается катарактой, эндокринными нарушениями, когнитивным снижением, аллопецией, нарушениями дыхательной функции.

В нашем клиническом наблюдении у пациентки не известна форма мышечной дистрофии. Но, исходя из вышеизложенного теоретического анализа, посвященного мышечной дистрофии, пациенты, имеющие любую из данных форм мышечной дистрофии, подвержены кардиомиопатиям и снижением сократительной активности мышц, участвующих в акте дыхания.

Описание клинического случая

Пациентка Ф., 56 лет, 8 июля 2022 года поступила в экстренном порядке в хирургическое отделение №3 ГБУЗ «Пензенская областная больница им. Н.Н. Бурденко» спустя 20 часов после начала заболевания.

При поступлении пациентка предъявляла жалобы на разлитую боль по всему животу, интенсивно проявляющуюся в нижних отделах, тошноту. Из анамнеза жизни выявлено, что у пациентки имеются сопутствующие заболевания: мышечная дистрофия, дегенеративный порок сердца — митральная регургитация 2–3 ст. и трикуспидальная регургитация 2 ст., гипертоническая болезнь 3 ст.

Аллергические реакции на лекарственные препараты у пациентки отсутствуют.

При общем объективном осмотре пациентки патологии не выявлено, за исключением сниженного мышечного тонуса на фоне присутствующей в анамнезе мышечной дистрофии и болезненности нижних отделов живота, преимущественно справа, при пальпации.

Пациентке установлен предварительный диагноз острого аппендицита, осложненного острым перитонитом. Пациентка была госпитализирована для выполнения диагностической видеолапароскопии с целью верификации диагноза.

После предоперационной подготовки в течение 2 часов пациентка была транспортирована в операционную для проведения диагностической видеолапароскопии. В качестве медикаментозных средств, предназначенных для проведения премедикации, были введены Дифенгидрамин 1 % — 1 мл и раствор Атропина 0,1 % — 0,5 мл.

Пациентка была осмотрена врачом-анестезиологом. В качестве анестезии был выбран общий наркоз — тотальная внутривенная анестезия и ИВЛ с полузакрытым дыхательным контуром. Во время проведения анестезии пациентке внутривенно были введены: Кетамин — лекарственный препарат для индукции наркоза, оказывающий выраженную аналгезию, Фентанил — сильнодействующий опиоидный анальгетик, вызывающий выраженное угнетение дыхания, а также Диазепам — анксиолитик, потенцирующий действие препаратов для наркоза, а также являющийся миорелаксантом центрального действия.

В ходе проведения диагностической лапароскопии в брюшной полости в малом тазу справа был серозный выпот до 30 мл, аппендикс гиперемирован, напряжен, определялся налет фибрина. Интраоперационно поставлен окончательный диагноз острого флегмонозного аппендицита, осложненного местным серозно-фибринозным перитонитом. Далее была проведена аппендэктомия, дренирование брюшной полости. После операции для дальнейшего лечения пациентка транспортирована в отделение реанимации и интенсивной терапии.

08.07.2022 года с 4:50 час по 6:45 час пациентка находилась в состоянии медикаментозного сна. Состояние тяжелое. Гемодинамика устойчивая. Пульс удовлетворительного напряжения, ритмичный, одинаков на обеих руках. Дыхание осуществлялось посредством ИВЛ. Живот симметричный, на пальпацию не реагирует, кишечные шумы ослаблены. По дренажам из брюшной полости сукровичное отделяемое, повязка на послеоперационной ране сухая. По желудочному зонду отделяемого нет. Мочеиспускание осуществлялось по мочевому катетеру. Диурез достаточный. Тяжесть состояния пациентки обусловлена интоксикацией, нарушением водно-электролитного баланса, ранним послеоперационным периодом. Продолжена комплексная консервативная терапия в условиях ОРИТ.

С 8:30 час 08.07.2022 г. и последующие двое суток пациентка находилась на искусственной вентиляции легких, общалась жестами, была вялая, адинамичная. Тонус мышц снижен. Состояние расценивалось как тяжелое. Самостоятельное дыхание было не эффективным в виду быстрого истощения дыхательных мышц. Пульс удовлетворительного напряжения, ритмичный, одинаков на обеих руках. Тоны сердца приглушены. Температура постепенно увеличивалась по мере ухудшения состояния больной от 36,7 до 38 °С. Живот симметричный, при пальпации отмечалась слабая реакция в области послеоперационных ран. Кишечные шумы ослаблены. Самостоятельное питание невозможно вследствие нарушения акта глотания. По желудочному зонду — сухо. Мочеиспускание осуществлялось через катетер. Диурез сохранен. По дренажам из брюшной полости сукровичное отделяемое, повязка на послеоперационной ране сухая. Тяжесть состояния обусловлена дыхательной недостаточностью, миелопатией, мышечной слабостью на фоне прогрессирующей мышечной дистрофии, тетрапарезом. В условиях ОРИТ продолжена лечение: ИВЛ, обезболивание, инфузионная, противоязвенная, антибактериальная терапия, прокинетики, профилактика тромбоэмболических осложнений, симптоматическая терапия.

На фоне проводимой терапии 10.07.2022 г. в 14:10 час наступило резкое ухудшение состояния больной, диагностирована клиническая смерть. Реанимационные мероприятия, направленные на восстановление жизненно важных функций, в течение 30 минут оказались без эффекта. 10.07.2022 г. в 14:50 час констатирована биологическая смерть больной. Труп пациентки Ф. направлен на патологоанатомическое исследование.

Заключение врача патологоанатома: смерть пациентки Ф. наступила от острого флегмонозного аппендицита, по поводу которого больной была своевременно, по экстренным показаниям выполнена операция (лапароскопическая аппендэктомия) в условиях эндотрахеального наркоза. В послеоперационном периоде у пациентки развивается неэффективное самостоятельное дыхание (не возможность экстубации), продолжено дыхание через интубационную трубку. На вторые сутки возникает ухудшение состояния, неэффективность кровообращения. С учетом проведенной аутопсии, обнаруженных морфологических признаков непосредственной причиной смерти пациентки явилась острая легочно-сердечная недостаточность.

Танатогенез случая смерти пациентки Ф. представляется следующим образом: у пациентки имелось заболевание — мышечная дистрофия; с учетом сопутствующего заболевания анестезиологическое пособие в пред- и послеоперационном периоде подбирается индивидуально. Использование миорелаксантов при анестезии может привести к угнетению дыхания, гиперкалиемии с развитием легочно-сердечной недостаточности, остановки кровообращения.

Обсуждение

Рассмотрев данный клинический случай, представляется необходимым проанализировать механизм действия разных групп фармакологических средств, применяемых для анестезии у больных, страдающих мышечной дистрофией. Во время проведения анестезии, в качестве лекарственного средства для проведения премедикации был назначен Диазепам в дозировке 0,5 % — 2 мл. Дан-

ный препарат относится к группе безодиазепинов. К основным фармакологическим эффектам данного лекарственного средства относят анксиолитическое действие, которое связано с воздействием Диазепама на ГАМК-рецепторы в гиппокампе и лимбической системе. Также данный препарат оказывает снотворное и седативное действие, антидепрессивное действие. Лекарственное средство оказывает также потенцирующее действие препаратов для ингаляционного наркоза. В данном анализе Диазепам нас интересует как препарат, оказывающий центральное миорелаксирующие действие. В коре больших полушарий головного мозга Диазепам связывается с ГАМК-рецепторами нейронов, вследствие чего оказывает тормозное воздействие на генерацию нервных импульсов. Нарушается эфферентная двигательная иннервация поперечнополосатой и гладкой мышечных тканей. Данных фармакологический эффект позволяет специалисту-хирургу выполнить разрез в абдоминальной области для необходимых хирургических манипуляций, так как при применении Диазепама исключается гипертонус абдоминальной мускулатуры.

Также для индукции наркоза пациентке внутривенно был введен Кетамин в дозировке 0,5 % — 2 мл. Фармакологическое действие данного препарата связано с ГАМК-миметическим эффектом в центральной нервной системе. То есть данный препарат усиливает тропность ГАМК-рецепторов к гамма-аминомасляной кислоте. При совместном назначении данного препарата с Диазепамом, Диазепам вместо гамма-аминомасляной кислоты связывается с ГАМК-рецепторами, что усиливает его действие и ингаляционного наркоза. К основным фармакологическим эффектам относят выраженную аналгезию. К совместным побочным эффектам Кетамина и Диазепама относят паралич дыхательного центра, и как следствие, угнетение дыхания.

Необходимо отметить, что мышечная дистрофия характеризуется нарушением сокращения мышечной ткани на биохимическом уровне, который возникает из-за недостатков белков, входящих в состав дистрофин-ассоциированного гликопротеинового комплекса (ДАГ-комплекс). Данный комплекс оказывает влияние на гомеостаз мышечного волокна во время сокращения. Так как у данной пациентки имелся дефицит ДАГ-комплекса, то при сокращении мышечных волокон могли формироваться разрывы сарколеммы, что могло привести к выходу ионизированного кальция в межуточное вещество и как следствие к дальнейшему некрозу и фиброзу мышечной ткани. При мышечной дистрофии иннервация мышечного волокна, как правило, не нарушена. Но в условиях оперативного вмешательства с предварительным введением Диазепама и Кетамина, помимо внутреннего нарушения сокращения мышечного волокна, формируется еще и экзогенная причина в виде нарушения иннервации поперечнополосатой мускулатуры и гладких мышц. В связи с этим у Пациентки Ф. сформировалась несостоятельность в самостоятельном дыхании и глотании. Также в послеоперационном периоде у больной усугубилась миастения, проявляющаяся выраженной мышечной слабостью, и усугубилась гипотония гладкой мускулатуры, проявляющаяся ослабленными кишечными шумами, отсутствием стула.

По гистологическому заключению патологоанатома у пациентки наблюдался некроз эпителия почечных канальцев, который мог развиться на фоне повышения концентрации миоглобина крови, что справедливо для мышечной дистрофии, так как при разрыве мышечного волокна при миастении высвобождается миоглобин. Осложнением мышечной дистрофии у данной пациентки стало острое повреждение почек, а также острая постгипоксическая энцефалопатия, отек и набухание головного, дислокации ствола мозга.

Непосредственной причиной смерти пациентки Ф. стала острая дыхательная недостаточность и сердечная недостаточность.

Заключение

Интерес данного исследования заключается в редкой встречаемости мышечной дистрофии, сложности проведения диагностики и лечения данного заболевания, что не позволяет накопить достаточный опыт ведения таких больных. Вследствие со сложившейся ситуацией в клинической практике предусмотреть симптомы данной патологии при лечении других заболеваний сложно. Наш клинический опыт освещает данную тему во избежание неблагополучных исходов лечения.

Как правило, при любой форме мышечной дистрофии у пациентов течение основного заболевания осложняется кардиомиопатиями и снижением сократительной активности мышц, участвующих в акте дыхания.

Для проведения операций на органах брюшной полости под общей анестезией согласно клиническим рекомендациям, могут быть использованы такие препараты как Сибазон, Кетамин, Фентанил. Анализ механизма действия данных препаратов показал, что помимо основных фармакологических эффектов лекарственные средства оказывают еще и побочные эффекты, например, угнетение генерации нервного импульса и снижение эфферентной иннервации органов и тканей. Несмотря на то, что препараты были введены пациентке в допустимой дозировке, сопутствующая патология в виде мышечной дистрофии, значительно отягощая анамнез, привела к преобладанию побочных эффектов в послеоперационном периоде и к летальному исходу.

На данный момент в России сведения о распространенности мышечных дистрофий отсутствуют. Но тот факт, что данное заболевание встречается не часто, не дает оснований для прекращения поиска новых знаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болезни нервной системы: руководство для врачей: в 2 т. Т. 1 / под ред. Н.Н. Яхно. 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во «Медицина», 2005.
2. Доронин В.Б., Доронина О.Б. Наследственные мышечные дистрофии. Бюллетень сибирской медицины 2009; 3 (2)
3. Заболотских И.Б., Белкин А.А., Бутров А.В., Кондратьев А.Н., Лебединский К.М., Лубнин А.Ю., Магомедов М.А., Николаенко Э.М., Овечкин А.М., Шифман Е.М., Щеголев А.В. Периоперационное ведение пациентов с нервно-мышечными заболеваниями. Анестезиология и реаниматология. 2019; 1:6–26.
4. Иванова Е.О., Москаленко А.Н., Федотова Е.Ю., Курбатов С.А., Илларионшкин С.Н. Миотоническая дистрофия: генетика и полиморфизм клинических проявлений. Анналы клинической и экспериментальной неврологии 2019; 13(1): 15–25.
5. Китаева В.Е., Котов А.С., Бунак М.С. Прогрессирующие мышечные дистрофии. Российский неврологический журнал. 2021;26(2):43–57.
6. Amato A., Darras B., Greenberg S., el al. Muscle diseases // Continuum. 2006. V. 12, № 3. P. 33–75.
7. Bione S., Maestrini E., Rivella S. et al. Identification of a novel X-linked gene responsible for Emery-Dreifuss muscular dystrophy // Nat. Genet. 1994. V. 8. P. 323–327.
8. Bonne G., Di Barletta M.R., Varnous S. et al. Mutations in the gene encoding lamin A/C cause autosomal dominant Emery-Dreifuss muscular dystrophy |/ Nat. Genet. 1999. V. 21. P. 285–288.
9. Brook J.D., McCurrach M.E., Harley H.G. et al. Molecular basis of myotonic dystrophy: expansion of a trinuc-leotide (CTG) repeat at the 3′ end of a transcript encoding a protein kinase family member // Cell. 1992. V. 68. P. 799–808.
10. Bushby K.M. Diagnostic criteria for the limb-girdle muscular dystrophies: report of the ENMC Consortium on Limb-Girdle Dystrophies // Neuromuscul. Disord. 1995. V. 5. P. 71–74.
11. Harper P.S. Myotonic dystrophy. 2nd edition. London: WB Saunders, 1989.
12. Hewitt J.E., Lyle R., Clark L.N. et al. Analysis of the tandem repeat locus D4Z4 associated with facioscapulo-humeral muscular dystrophy // Hum. Mol. Genet. 1994. V. 3. P. 1287–1295.
13. Minetti C., Sotgia F., Bruno C. et al. Mutations in the caveolin-3 gene cause autosomal dominant limb girdle muscular dystrophy // Nat. Genet. 1998. V.18. P. 365–368.
14. Rafaelle Di Bar let ta M., Ricci E., Galluzzi G. et al. Different mutations in the LMNA gene cause autosomal dominant and autosomal recessive Emery-Dreifuss muscular dystrophy // Am. J. Hum. Genet. 2000. V. 66. P. 1407–1412.
15. Reilly M., Hanna M. Genetic neuromuscular disease // Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry. 2002. № 73. P. 12–21.
16. Van der Maarel S.M., Frants R.R. The D4Z4 repeat-mediated pathogenesis of facioscapulohumeral muscular dystrophy // Am. J. Hum. Genet. 2005. V. 76. P. 375–386.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.16

ПЕПТИДНЫЕ ГИДРОЛИЗАТЫ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПОДДЕРЖАНИЮ ЗДОРОВЬЯ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ

PEPTIDE HYDROLYSATES AS AN INNOVATIVE APPROACH TO MAINTAINING MUSCULOSKELETAL AND CONNECTIVE TISSUE HEALTH

V. Kovaleva
A. Malevanny
V. Taufik
M. Krasovskaya
D. Mordvintsev

Summary. Large joint damage and degenerative diseases of the spine are common problems that significantly reduce the quality of life of patients. The aim of the study was to evaluate the efficacy of animal protein peptide hydrolysates in patients with chronic musculoskeletal and connective tissue diseases. 23 patients with osteoarthritis of large joints and degenerative diseases of the spine in the period of exacerbation during 6 months received monotherapy with animal protein hydrolysates (beef and chicken). The intensity of pain syndrome was assessed by visual analogue scale (VAS) at rest and during movements, before treatment, after 3 months, 6 months of treatment, as well as 2 months after completion of the course. When assessed after 3 months of therapy, the mean VAS score was statistically significantly lower compared to the pre-test result both at rest (6.1 vs. 5.13 points, p=0.013) and during movement (6.61 vs. 5.22, p=0.008). After 6 months, the result was accrued at rest (6.1 points vs. 0.61, p=0.003), and during movements (6.61 points vs. 0.65, p=0.001). A further decrease in pain intensity was observed 2 months after discontinuation of protein hydrolysates (0.34 points at rest and 0.45 points during movement). When taking a therapeutic dose When taking a therapeutic dose of beef and chicken protein hydrolysates, the development of the effect was registered after 3 months of treatment, further the effect increased during the continuation of treatment up to 6 months, and persisted for 2 months after the cancellation of hydrolysates.

Keywords: peptides, protein hydrolysates, amino acids, osteoarthritis, knee joint, wrist joint, degenerative diseases of the spine.

Ковалева Виктория Николаевна
Врач-кардиолог, реаниматолог, медицинский директор, АНО ДПОО НИИ Функционального Питания, Москва
info@nutrition-institute.ru
Малеванный Александр Евгеньевич
врач-остеопат, клиника холистической медицины и диагностики «Adaptogenzz»
info@nutrition-institute.ru
Тауфик Виктория-Самира Александровна
нутрициолог, клиника холистической медицины и диагностики «Adaptogenzz»
info@nutrition-institute.ru
Красовская Мария Альбертовна
главный врач, клиника холистической медицины и диагностики «Adaptogenzz»
info@nutrition-institute.ru
Мордвинцев Дмитрий Юрьевич
кандидат химических наук, АНО ДПОО НИИ Функционального Питания
chlorum@gmail.com

Аннотация. Поражение крупных суставов и дегенеративные заболевания позвоночника являются распространенной проблемой, которая в значительной степени снижает качество жизни пациентов. Цель исследования — оценить эффективность приема пептидных гидролизатов животного белка у пациентов с хроническими заболеваниями опорно-двигательной системы и соединительной ткани. Пептидные белковые гидролизаты — первые в России системы восстанавливающего низкомолекулярного питания и нутритивной поддержки организма, произведенные Российской инновационной биотехнологической компанией (г. Волоколамск, МО) из натурального отечественного животного сырья.

Пептидные гидролизаты имеют в своем составе широкий профиль протеиногенных аминокислот выполняющих структурную функцию при формировании белков: глицин, аланин, пролин, серин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, глутамин, аргинин, гистидин, тирозин,) в том числе 7 из 8 незаменимых — валин, изолейцин, лейцин, треонин, метионин, лизин, фенилаланин. Двадцать три пациента больных остеоартрозом крупных суставов и дегенеративными заболеваниями позвоночника в период обострения на протяжении 6 месяцев получали монотерапию гидролизатами животных белков (говяжий и куриный). Оценивали интенсивность болевого синдрома по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) в покое и при движениях, до начала лечения, через 3 месяца, 6 месяцев лечения, а также через 2 месяца после завершения курса. При оценке через 3 месяца терапии среднее значение баллов по ВАШ было статистически значимо ниже по сравнению с результатом предварительного тестирования как в покое (6,1 балла против 5,13 баллов, p=0,013), так и при движениях (6,61 против 5,22, p=0,008). Через 6 месяцев результат нарастал в покое (6,1 балл против 0,61, p=0,003), и при движениях (6,61 балла против 0,65, p=0,001). Через 2 месяца после прекращения приема гидролизатов белка наблюдалось дальнейшее сниже-

ние интенсивности боли (в покое — 0,34 балла, при движениях — 0,45 балла). При приеме терапевтической дозы гидролизатов говяжьего и куриного белка развитие эффекта зарегистрировано через 3 месяца лечения, далее эффект нарастал при продолжении лечения до 6 месяцев, и сохранялся в течение 2 месяцев после отмены гидролизатов.

Ключевые слова: пептиды, гидролизаты белка, аминокислоты, остеоартроз, коленный сустав, лучезапястный сустав, дегенеративные заболевания позвоночника.

Заболевания опорно-двигательной системы и соединительной ткани отражают здоровье суставов, мышц и костей и относятся к патологиям, которые в значительной степени нарушают качество жизни пациентов. Основной причиной инвалидности среди пожилых людей является остеоартроз коленного сустава, поражающий весь сустав, включая суставной хрящ, субхондральную кость, синовиальные ткани и мениски [1]. Исследование всемирного бремени болезней, проведенное Всемирной организацией здравоохранения в 21 эпидемиологическом регионе мира, показало рост бремени остеоартроза коленного сустава на 26,6 % в период с 1990 по 2010 год [2].

Сообщается о неуклонном росте заболеваемости по мере увеличения продолжительности жизни и ожирения. При этом, наибольшее распространение наблюдается среди населения пенсионного возраста; а женщины болеют достоверно чаще, чем мужчины [3].

Терапия остеоартроза включает безрецептурные анальгетики, нестероидные противовоспалительные препараты, внутрисуставные инъекции кортикостероидов или гиалуроновой кислоты (ГК), трамадола и других опиоидных анальгетиков. Хотя эти методы лечения облегчают краткосрочные симптомы, их общее воздействие на патофизиологическое прогрессирование заболеванием ограничено и единственным долгосрочным решением для ОА является полная замена сустава [4].

Аналогичным образом, дегенеративные заболевания позвоночника, характеризующиеся прогрессирующими изменениями в структурах позвоночного столба, включая межпозвонковые диски, фасеточные суставы, связки и тела позвонков приводят к боли, ограничению подвижности и неврологическим нарушениям. Эпидемиологическая картина отличается значительной гетерогенностью и зависит от пола, возраста. Важную роль в развитии заболевания играет генетическая предрасположенность и образ жизни [5].

Люди с поражением суставов или дегенеративными заболевания позвоночника нередко переходят на натуральные нутрицевтики для облегчения боли и дискомфорта. Нутрицевтики или их компоненты — это функциональные продукты питания и натуральные продукты, которые обладают лечебными, терапевтическими или другими полезными для здоровья свойствами. К натуральным нутрицевтикам относятся и пептиды из природных источников [2].

Пептидные гидролизаты животного белка представляют собой смесь пептидов различной длины, полученных путем ферментативного расщепления животного белка. Благодаря своему составу, пептидные гидролизаты обладают целым рядом биологически активных свойств, включая антиоксидантное, противовоспалительное и иммуномодулирующее действие [6,7]. В частности, пептидные гидролизаты получают из говядины, курицы, рыбы и моллюсков, которые служат источником родительских белковых молекул, и могут предложить новые последовательности аминокислот в пептидах, имеющих уникальные биофункциональные свойства при гидролизе протеазами из разных источников [8,9].

Ранее была показана эффективность биоактивных гидролизатов и пептидов из животных и морских белков при лечения гипертонической болезни, благодаря ингибирующей активности ангиотензин I-превращающего фермента и соответственно развитию антигипертензивного эффекта [10].

Также было показано, что гидролизаты белка мышц тунца могут снижать гепатостеатоз и способствовать повышению уровня холестерина липопротеинов высокой плотности в сыворотке у мышей с ожирением и диабетом 2 типа, и выступают перспективными терапевтическими ингредиентами для контроля сердечно-сосудистых заболеваний [11,12].

Цель исследования — оценить эффективность пептидных гидролизатов животного белка у пациентов с хроническими заболеваниями опорно-двигательной системы и соединительной ткани.

Исследование проводилось на протяжении 8 месяцев в двух клиниках Adaptogenzz (г. Москва)

Критерии включения:

— диагностированные на основании осмотра и расширенной диагностики дегенеративные заболе-

вания позвоночника, остеоартроз крупных суставов или дисплазия соединительной ткани;
— предоставление заключения врача, полученного в результате консультации не менее чем за год до включения в исследования;
— период обострения заболевания, с активными жалобами;
— применение монотерапии пептидными гидролизатами, на весь период исследования, включая контрольные мероприятия;
— подписание информированного согласия на участие в исследовании.

Критерии невключения:
— возраст младше 18 лет;
— диагноз не подтвержден заключением врача, полученным в течение года до исследования;
— комбинированное лечение заболевания (отказ от монотерапии пептидными гидролизатами);
— наличие ревматических заболеваний; нарушений со стороны эндокринной системы; тяжелых заболеваний почек, печени, сердечно-сосудистой системы; хронических обструктивных заболеваний дыхательной системы; онкологический анамнез.

Критерии исключения:
— низкий уровень ответственности в отношении соблюдения режима приема гидролизата;
— неявка на контрольные мероприятия.

Согласно описанным критериям, в исследование были включены и приняли участие во всех контрольных мероприятиях 23 участника; 3 (13 %) пациента мужского и 20 (87 %) женского пола. Средний возраст участников составил 48,9 лет. У большой части участников был диагностирован прогрессирующий остеоартроз коленных суставов 2 и 3 степени (56,6 %), далее следовал посттравматический артроз коленного и лучезапястного сустава (21,7 %), и дегенеративное заболевание позвоночника (17,4 %). У одного пациента была диагностирована дисплазия соединительной ткани, которая проявлялась интенсивной болью и скованностью в области коленных суставов. Клинико-демографические параметры участников отражены в таблице 1.

Перед началом терапии все пациенты приняли участие в предварительном тестировании, для выявления интенсивности болевого синдрома. Для предварительного и контрольного тестирования для всех участников использовали визуально-аналоговую шкалу (ВАШ) в покое и при движениях. Для пациентов с артрозом лучезапястного сустава предлагалось совершать хватательные и щипковые движения, и заниматься монотонной деятельностью с помощью пораженной конечности не менее 7–10 минут (переписывать текст, работать с тестом). Под движением для остальных пациентов подразумевалась ходьба (не менее 30 минут), подъем и спуск по лестнице. Все участники на протяжении 6 месяцев получали гидролизаты животного белка: 5 г говяжьего и 5 г куриного гидролизата.

Таблица 1.
Клинико-демографические показатели участников исследования (абс./%)

Параметр	Распространенность среди участников (n=23)
Возраст (среднее, лет)	48,9
Мужской пол (абс./%)	3 (13 %)
Женский пол (абс./%)	20 (87 %)
Остеоартроз коленного сустава	13 (56,6 %)
Посттравматический артроз крупных суставов	5 (21,7 %)
Дегенеративное заболевание позвоночника	4 (17,4 %)
Дисплазия соединительной ткани	1 (4,3 %)

В качестве дополнительной терапии при интенсивном болевом синдроме допускалось применение нестероидных противовоспалительных препаратов, в любой форме, привычной для пациента.

Контроль за эффективностью лечения путем повторной оценки интенсивности болевого синдрома в покое и в движении по ВАШ осуществлялся через 3 месяца, 6 месяцев лечения, а также спустя 2 месяца после прекращения приема пептидного гидролизата.

Все участники подписали информированное согласие на участие в исследовании; пептидные гидролизаты получали от исследователей бесплатно; вознаграждение за участие в исследовании не предполагалось.

Количественные переменные представлены в виде средних значений; качественные переменные в виде абсолютных значений и процентов. Для выявления различий до и после курса терапии в контрольных точках) был использован критерий Манна-Уитни. Для всех тестов был выбран двусторонний уровень значимости p=0,05. Обработка проведена с использованием программного обеспечения SPSS Statistics (25.0).

При предварительном тестировании значения интенсивности болевого синдрома в покое перед началом исследования составляли менее 2 баллов у 1 (4,3 %) пациента (слабая боль); у 2 (8,7 %) пациентов интенсивность болевого синдрома составила 2–4 балла (умеренная боль); у 16 (69,6 %) от 4 до 6 баллов (сильная боль); у 4 (17,4 %) от 6 до 8 баллов (сильнейшая боль) (рисунок 1).

При движениях до начала курса терапии слабая боль была зарегистрирована у 1 (4,3 %) пациента; умеренная

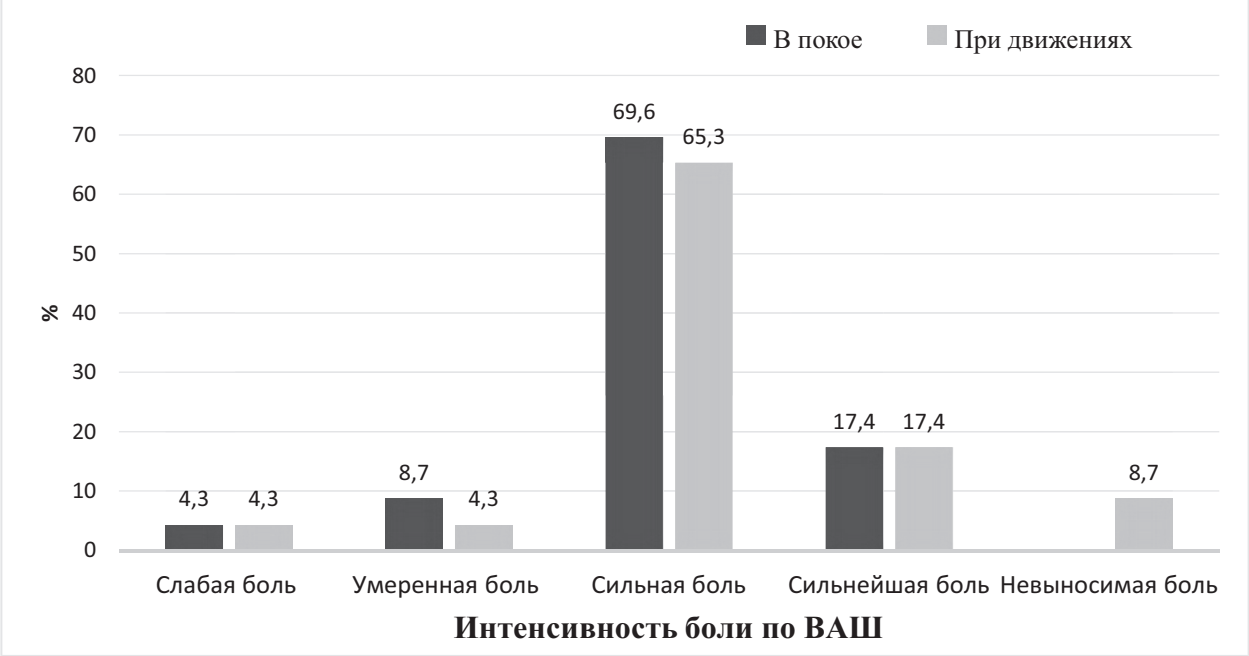


Рис. 1. Интенсивность болевого синдрома по ВАШ до начала терапии в покое и при движениях среди участников исследования (n=23)

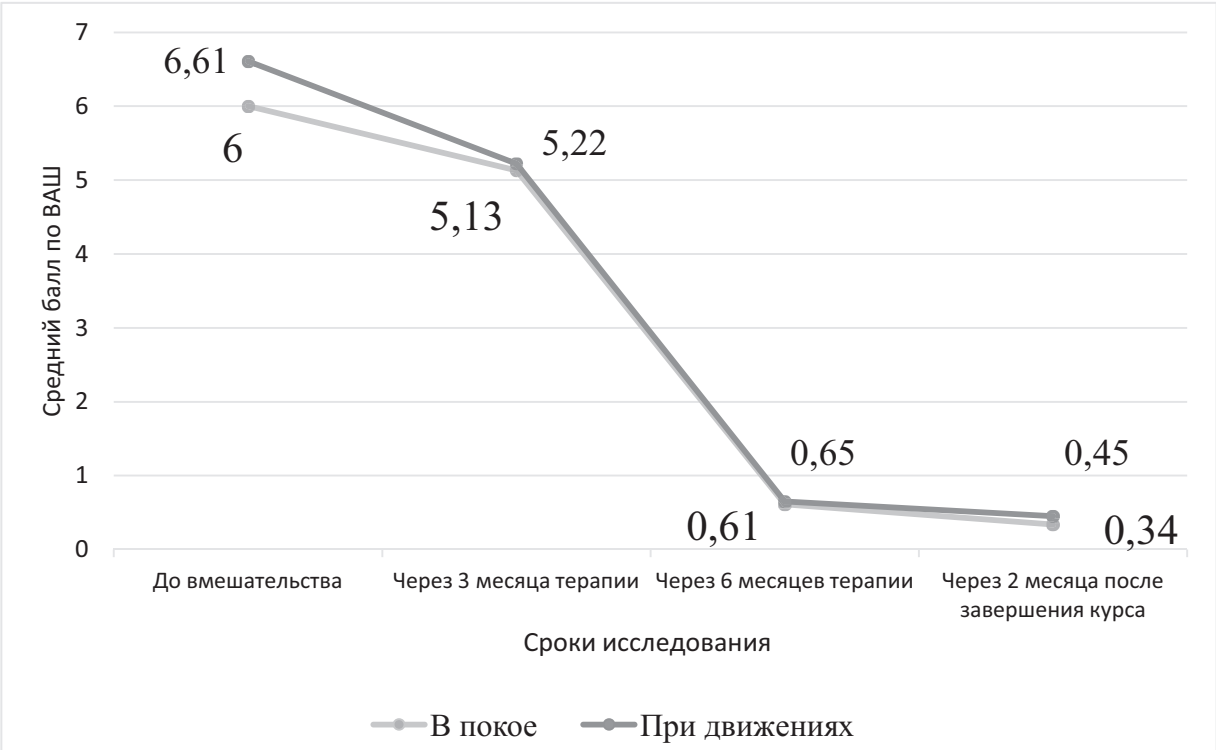


Рис. 2. Результаты субъективной оценки болевого синдрома у пациентов в ходе исследования

боль — у 1 (4,3 %); сильная боль — 15 (65,3 %); сильнейшая боль — 4 (17,4 %); и невыносимая боль со значениями по субъективной шкале оценки 8–10 баллов была выявлена у 2 (8,7 %) участников (Рисунок 1).

Средний показатель интенсивности болевого синдрома до начала лечения в покое составил 6,1 балл, при движениях — 6,61 балла (рисунок 2).

При оценке болевого синдрома через 3 месяца терапии гидролизатами наблюдалось уменьшение болевого синдрома у всех пациентов. Среднее значение баллов, отражающих интенсивность болевого синдрома, было статистически значимо меньше через 3 месяца лечения, по сравнению с результатом предварительного тестирования как в покое (6,1 балла против 5,13 баллов,

p=0,013), так и при движениях (6,61 против 5,22, p=0,008) (таблица 2, рисунок 2).

Таблица 2.

Результаты субъективной оценки боли через 3 месяца терапии (средний балл по ВАШ)

Показатель	До начала терапии	Через 3 мес. лечения	p-value
В покое	6,1	5,13	0,013
При движениях	6,61	5,22	0,008

Средний показатель по ВАШ через 6 месяцев лечения составил в покое 0,61 балл, при движениях — 0,65 балла. При сравнении с результатами предварительного тестирования был получен статистически достоверный результат как в покое (6,1 балл против 0,61, p=0,003), так и при движениях (6,61 балла против 0,65, p=0,001) (таблица 3, рисунок 2).

Таблица 3.

Результаты субъективной оценки боли через 6 месяцев терапии (средний балл по ВАШ)

Показатель	До начала терапии	Через 6 мес. лечения	p-value
В покое	6,1	0,61	0,003
При движениях	6,61	0,65	0,001

Оценка через 2 месяца после прекращения приема гидролизатов белка показала дальнейшее снижение интенсивности болевого синдрома. Были получены следующие средние значения по ВАШ: в покое — 0,34 балла, при движениях — 0,45 балла. После завершения итоговых контрольных мероприятий все участники исследования, с сохранившейся слабой болью продолжили прием терапевтической дозы гидролизатов говяжьего и куриного белка (рисунок 2).

К концу курса лечения 65 % участников полностью отменили прием НПВС, остальные 35 % значительно снизили дозировку. При этом была отмечена 100 % переносимость гидролизатов говяжьего и куриного белка.

Показанная эффективность монотерапии пептидными гидролизатами создает предпосылки для их включения в комбинированную терапию нарушений опорно-двигательной системы и соединительной ткани, включая артрозы крупных суставов, дегенеративные заболевания позвоночника. При приеме терапевтической дозировки гидролизатов говяжьего и куриного белка развитие эффекта зарегистрировано через 3 месяца лечения, далее эффект нарастал при продолжении лечения до 6 месяцев, и сохранялся в течение 2 месяцев после отмены гидролизатов.

В качестве ограничений исследования следует отметить небольшую когорту участников и короткий срок исследования (8 месяцев). Проведение более обширного изучения эффективности гидролизатов у больных с поражениями крупных суставов, с анализом результатов более длительного вмешательства остаются предметом будущих исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терешенков В.П. и др. Локальная внутрисуставная и околосуставная терапия глюкокортикоидами в комплексном лечении заболеваний опорно-двигательного аппарата //Opinion Leader. — 2021. — №. 2. — С. 84–91.
2. Chen CC, Chang SS, Chang CH, Hu CC, Nakao Y, Yong SM, Mandy YLO, Lim CJ, Shim EK, Shih HN. Randomized, double-blind, four-arm pilot study on the effects of chicken essence and type II collagen hydrolysate on joint, bone, and muscle functions. Nutr J. 2023 Mar 15;22(1):17. doi: 10.1186/s12937-023-00837-w.
3. Li JS, Tsai TY, Clancy MM, Li G, Lewis CL, Felson DT. Weight loss changed gait kinematics in individuals with obesity and knee pain. Gait Posture. 2019 Feb;68:461–465
4. Persson MSM, Stocks J, Varadi G, Hashempur MH, van Middelkoop M, Bierma-Zeinstra S, et al. Predicting response to topical non-steroidal anti-inflammatory drugs in osteoarthritis: an individual patient data meta-analysis of randomized controlled trials. Rheumatology (Oxford) 2020;59:2207–2216. doi: 10.1093/rheumatology/keaa113
5. Vilarello E, Sharma A, Rivas-Rodriguez F. Updates in Degenerative Joint Disease of the Lumbar Spine. Magn Reson Imaging Clin N Am. 2025 May;33(2):203–216. doi: 10.1016/j.mric.2025.01.010.
6. Phadke GG, Rathod NB, Ozogul F, Elavarasan K, Karthikeyan M, Shin KH, Kim SK. Exploiting of Secondary Raw Materials from Fish Processing Industry as a Source of Bioactive Peptide-Rich Protein Hydrolysates. Mar Drugs. 2021 Aug 25;19(9):480. doi: 10.3390/md19090480.
7. Zhang C, Alashi AM, Singh N, Liu K, Chelikani P, Aluko RE. Beef Protein-Derived Peptides as Bitter Taste Receptor T2R4 Blockers. J Agric Food Chem. 2018 May 16;66(19):4902–4912. doi: 10.1021/acs.jafc.8b00830.
8. Klompong V., Benjakul S., Kantachote D., Shahidi F. Antioxidative Activity and Functional Properties of Protein Hydrolysate of Yellow Stripe Trevally (Selaroides leptolepis) as Influenced by the Degree of Hydrolysis and Enzyme Type. Food Chem. 2007;102:1317–1327. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.07.016.
9. Drotningsvik A, Pampanin DM, Slizyte R, Carvajal A, Høgøy I, Remman T, Gudbrandsen OA. Hydrolyzed proteins from herring and salmon rest raw material contain peptide motifs with angiotensin-I converting enzyme inhibitors and resulted in lower urine concentrations of protein, cystatin C and glucose when fed to obese Zucker fa/fa rats. Nutr Res. 2018 Apr;52:14–21. doi: 10.1016/j.nutres.2018.01.001.
10. Saleh AS, Zhang Q, Shen Q. Recent Research in Antihypertensive Activity of Food Protein-derived Hydrolyzates and Peptides. Crit Rev Food Sci Nutr. 2016;56(5):760–87. doi: 10.1080/10408398.2012.724478.
11. Maeda H, Hosomi R, Fukuda M, Ikeda Y, Yoshida M, Fukunaga K. Dietary tuna dark muscle protein attenuates hepatic steatosis and increases serum high-density lipoprotein cholesterol in obese type-2 diabetic/obese KK-A(y) mice. J Food Sci. (2017) 82:1231–8. 10.1111/1750-3841.13711
12. Lammi C, Aiello G, Boschin G, Arnoldi A. Multifunctional peptides for the prevention of cardiovascular disease: A new concept in the area of bioactive food-derived peptides. J Funct Foods. (2019) 55:135–45. 10.1016/j.jff.2019.02.016

© Ковалева Виктория Николаевна (info@nutrition-institute.ru); Малеванный Александр Евгеньевич (info@nutrition-institute.ru);
Тауфик Виктория-Самира Александровна (info@nutrition-institute.ru); Красовская Мария Альбертовна (info@nutrition-institute.ru);
Мордвинцев Дмитрий Юрьевич (chlorum@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.21

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОТИВОСПАЕЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ СПАЙКООБРАЗОВАНИЯ В БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ ПОСЛЕ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF ANTI-ADHESIVE AGENTS FOR THE PREVENTION OF ADHESION FORMATION IN THE ABDOMINAL CAVITY AFTER LAPAROSCOPIC SURGERY

A. Magomedov
M. Ramazanov
M. Magomedov
A. Osmanov
Kh. Dalgatov

Summary. The paper presents an analysis of the results of using a solution of viscoplus and proserin for the prevention of adhesions in the abdominal cavity after laparoscopic resections of the small and large intestines. The aim of this study was to prevent adhesions in the abdominal cavity after laparoscopic operations by proposing and developing innovative means. The study is based on an experimental justification for the use of a solution of viscoplus in laparoscopic resection of the small intestine on 40 «White Giant» rabbits and clinical studies were performed after laparoscopic resections of the small and large intestines in 67 patients of the main group and in 40 patients of the comparison group.
In the main group, after studying hemocirculation and using a solution of viscoplus and proserin, there was no suture failure and adhesion formation, and in the comparison group, suture failure of interintestinal anastomoses was found in 6 patients and adhesion formation in 16 patients.

Keywords: interintestinal anastomoses, adhesion formation, anti-adhesion agents.

Магомедов Амир-Али Магомедович
кандидат медицинских наук, заведующий хирургическим отделением ФКУЗ МСЧ Республики Дагестан, майор медицинской службы, ассистент, Дагестанский государственный медицинский университет
mr.amirali@mail.ru
Рамазанов Муталим Рамазанович
доктор медицинских наук, Дагестанский государственный медицинский университет
mutalim 338@gmail.com
Магомедов Магомед Ахмедович
кандидат медицинских наук, Дагестанский государственный медицинский университет
magomed 05@ gmail.com
Османов Абдурахман Османович
Дагестанский государственный медицинский университет
abdurahman06@yandex.ru
Далгатов Хаджимурат Магомедович
кандидат медицинских наук, Дагестанский государственный медицинский университет
hadgi 05@ rambler.ru

Аннотация. В работе представлен анализ результатов применения раствора вископлюса и прозерина с целью профилактики спайкообразования в брюшной полости после лапароскопических резекций тонкой и толстой кишок. Целью настоящего исследования явилась профилактика спайкообразования в брюшной полости после лапароскопических операций путём предложения и разработки инновационных средств. Исследование основано на экспериментальном обосновании применения раствора вископлюса при лапароскопической резекции тонкой кишки на 40 кроликах «Белый великан». Клинические исследования выполнены после лапароскопических резекций тонкой и толстой кишок у 67 больных основной группы и у 40 больных группы сравнения.
В основной группе после исследования гемоциркуляции и применения раствора вископлюса и прозерина не было несостоятельности швов и спайкообразования, а в группе сравнения обнаружена несостоятельность швов межкишечных анастомозов у 6 больных и спайкообразование у 16 больных.

Ключевые слова: межкишечеые анастомозы, спайкообразование, противоспаечные средства.

Введение

До настоящего времени не преодолено спайкообразование в брюшной полости после лапароскопических операций. Предложение множества противоспаечных средств говорит о том, что эта проблема сложная и до конца не решена.

Опубликованы работы по профилактике спайкообразования после лапароскопических операций в брюшной полости с применением различных противоспаечных средств [1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Авторы не привели механизм действия этих средств на профилактику спаек.

По данным О.А. Кульчицкого [3], Б.И. Сафарова [9] в терминальном отделе тонкой кишки чаще встречается спайкообразование после лапароскопических операций и связывают с ишемией тонкой кишки в этом отделе.

Л.А. Якимов и соавт. [12] применили с успехом раствор искусственной синовиальной жидкости вископлюс 1 % — 2 мл 1 раз в неделю при остеоартрозах для скольжения суставной поверхности у больных в клинике.

В настоящей работе поставлена задача изучения профилактики спайкообразования после введения раствора вископлюса в брюшную полость и применения раствора прозерина при лапароскопических операциях на первом этапе в эксперименте, а затем внедрения в клинику.

Актуальность профилактики спайкообразования обоснована частотой спайкообразования в брюшной полости после лапароскопических операций, тяжестью осложнений после возникших спаек и не решённостью до конца данной проблемы.

Целью исследования является профилактика спайкообразования в брюшной полости после лапароскопических операций путём предложения и разработки инновационных средств.

Материал и методы исследований

Экспериментальные исследования выполнены на 40 кроликах «Белый великан». Клинические исследования выполнены у 107 больных после лапароскопических резекций тонкой и толстой кишок, из них 67 больных основной группы и 40 больных группы сравнения.

Кровяное давление в интрамуральных сосудах кишки исследовано по методике М.З. Сигала [10] и насыщение кислородом гемоглобина артериальной крови во время операций определено с помощью разработанного нами аппарата [8]. Затем вычисляли артериальный индекс жизнеспособности шовной полосы по формуле, предложенной М.Р. Рамазановым [7]:

$$\text{АИ} = \frac{(Dn + Dб) - 20}{Dc} \geq 1,$$

где *Dn* — интрамуральное давление у противобрыжечного края кишки;

Dб — интрамуральное давление у брыжечного края кишки;

Dc — системное давление на плече больного по Н.С. Короткову.

АИ — артериальный индекс жизнеспособности шовной полосы

В эксперименте на 20 кроликах изучено влияние прозерина на кровяное давление в интрамуральных сосудах терминального отдела тонкой кишки. Проведённые экспериментальные исследования показали, что после введения 1 мл прозерина внутримышечно наблюдается статистически значимое (P < 0,001) повышение кровяного давления в интрамуральных сосудах тонкой кишки (табл. 1).

Таблица 1.

Кровяное давление в интрамуральных сосудах тонкой кишки до и после введения внутримышечно 1 мл прозерина в мм рт. ст.

Давление M±n		Давление M±n	
В норме n=20		После введения прозерина n=20	
Интрамуральное	Общее	Интрамуральное	Общее
66,5±0,5/ 30,3±0,5	119,3±1,2/ 82±0,8	81,4±0,6/ 52,3±0,6 P < 0,001	120,2±0,8/ 80±0,6.

Введение раствора противоспаечного средства вископлюс 1 % — 0,04 на 1 кг веса также статистически значимо (P < 0,001) повышает кровяное давление в интрамуральных сосудах тонкой кишки на 12±1 мм.рт. ст.

На 30 кроликах основной группы выполнена лапароскопическая резекция тонкой кишки в терминальном отделе с формированием межкишечного анастомоза после исследования гемоциркуляции и с введением вископлюса 1 % — 0,04 на 1 кг веса кролика в брюшную полость и 1 мл прозерина внутримышечно после операции. Межкишечный анастомоз формирован при артериальном и кислородном индексах выше 1 (табл. 1).

Соотношение насыщения кислородом гемоглобина артериальной крови у брыжеечного края в первой сохранённой интрамуральной артерии к системному насыщению кислородом артериальной крови в передней лапке кролика нами названо кислородным индексом жизнеспособности шовной полосы межкишечного ана-

Таблица 2.

Кровяное давление в зоне межкишечного анастомоза при резекции тонкой кишки в мм.рт.ст. и насыщение кислородом гемоглобина артериальной крови (30 кроликов)

Место замера	Кровяное давление M+m		АИ	КИ	SpO_2 Общее	SpO_2 Ш П	Шовная полоса
	Интрамуральное	Общее					
ПБР	95±0,5/60,5±1	120,3±0,8/75,4±0,6	И>1	И>1	90 %±1	92 %±1	Дистальная
БР	122±0,7/80,6±0,8	120,3±0,8/75,4±0,6					
ПБР	96±1,3/60±1,5	120±1/80,4±0,6	И>1	И>1	90 %±1	92 %±1	Проксимальная
БР	123±1,3/80±0,5	120±1/80,4±0,6					

Обозначения в таблице:
ПБР — противобрыжечный край; БР — брыжечный край;
SpO_2 — насыщение кислородом гемоглобина артериальной крови;
SpO_2 Ш. П. — ШОВНОЙ ПОЛОСЫ насыщение кислородом гемоглобина артериальной крови;
АИ — артериальный индекс; КИ — кислородный индекс

Таблица 3.

Кровяное давление в зоне межкишечного анастомоза при резекции тонкой кишки в мм.рт.ст. и насыщение кислородом гемоглобина артериальной крови (25 больных)

Место замера	Кровяное давление M+m		АИ	КИ	SpO2 Общее	SpO2 Ш П	Шовная полоса
	Интрамуральное	Общее					
ПБР	110±0,8/78,5±1	120,5±0,8/75,4±0,6	И>1	И>1	94 %±1	95 %±1	Дистальная
БР	121±0,7/80,6±0,8	120,5±0,8/75,4±0,6					
ПБР	113±1,3/60,5±1,6	120,2±0,7/75,4±0,6	И>1	И>1	94 %±1	96 %±1	Проксимальная
БР	122±1,3/80,5±0,6	120,2±0,7/75,4±0,6					

Обозначения в таблице те же, что и в таблице 2.

стомоза. В данном случае кислородный индекс выше единицы (92 % : 90 % = 1,02) (табл. 2).

На 10 кроликах в группе сравнения при лапароскопических резекциях тонкой кишки гемоциркуляция не исследована и противоспаечные препараты не применили.

Учитывая положительные результаты после применения раствора вископлюса и прозерина на 30 кроликах основной группы на первом этапе в эксперименте, нами решено применить эти препараты в клинике.

В клинике выполнены лапароскопические резекции тонкой кишки у 25 больных по поводу кишечной непроходимости с формированием межкишечного анастомоза с исследованием гемоциркуляции в зоне анастомоза (табл. 3).

В проксимальной шовной полосе у 25 больных основной группы кровяное давление составило 122,5±1,3/80,5±0,6 мм.рт.ст. при системном давлении 120,2±0,7/75,4±0,6 мм.рт.ст. и насыщение кислородом гемоглобина артериальной крови составило 96 %±1 при системном насыщении гемоглобина артериальной крови в пальце больного 94 %±1. Артериальный индекс жизнеспособности был выше 1 в зоне анастомоза (табл. 3).

У 25 больных основной группы после резекции тонкой кишки формирован межкишечный анастомоз при кровяном давлении в интрамуральных сосудах у брыжеечного края 121,1±0,7/80,6±0,8 мм.рт.ст. в дистальной шовной полосе при системном давлении на плече больного 120,2±0,7/79,4±0,6 мм.рт.ст. и 123,5±0,7/80±0,8 мм. рт.ст. в проксимальной шовной полосе при том же системном давлении на плече больного, а также при насыщении кислородом гемоглобина артериальной крови 95 %±1 в шовной полосе кишки и при системном насыщении гемоглобина артериальной крови в пальце больного 94 %±1 (табл. 3).

Соотношение насыщения кислородом гемоглобина артериальной крови у брыжеечного края в первой сохранённой интрамуральной артерии шовной полосы кишки к системному насыщению кислородом артериальной крови в пальце кисти нами названо кислородным индексом жизнеспособности шовной полосы межкишечного анастомоза. В данном случае кислородный индекс выше единицы (95 % : 94 % = 1,01) (табл. 3).

Для профилактики образования спаек у 25 больных основной группы применили раствор искусственной синовиальной жидкости вископлюс 1 %— 0,04 мл на 1 кг веса больного в 20 мл физиологического раствора, который вводили в брюшную полость 1 раз в неделю через дренаж и 1 мл прозерина внутримышечно 2 раза в день.

У 10 больных группы сравнения после резекции тонкой кишки по поводу тонкокишечной непроходимости при формировании межкишечного анастомоза не исследована гемоциркуляция в зоне анастомоза и не применяли противоспаечные средства в послеоперационном периоде.

У 15 больных основной группы выполнена правосторонняя гемиколэктомия по поводу рака правой половины ободочной кишки и формированы межкишечные анастомозы с исследованием гемоциркуляции в зоне анастомоза. Во время операции в шовных межкишечных анастомозов обнаружены артериальный и кислородный индексы обнаружены выше 1.

У 11 больных группы сравнения после правосторонней гемиколэктомии по поводу рака с формированием межкишечного анастомоза не исследована гемоциркуляция в зоне анастомоза и не применили противоспаечные средства.

У 15 больных основной группы сформирован межкишечный анастомоз после резекции ректосигмоидного отдела толстой кишки при интрамуральном кровяном давлении 121,1±0,8/84±1 мм.рт.ст. в дистальной шовной полосе при системном давлении 120,7±0,7/79, 2±0,6 мм. рт.ст. В проксимальной шовной полосе интрамуральное кровяное давление составило 122,3±1,3/80,5±1,8 мм.рт. ст. при системном давлении 120,7±1,7/79,2±0,8 мм.рт.ст. на плече больного (табл. 4).

Для профилактики образования спаек у 15 больных основной группы после резекции ректосигмоидного отдела толстой кишки применили искусственную синовиальную жидкость вископлюс 1 %— 0,04 мл на 1 кг веса больного в 20 мл физиологического раствора, который вводили в брюшную полость 1 раз в неделю через дренаж, а прозерин вводили внутримышечно 2 раза в день.

У 10 больных группы сравнения после резекции ректосигмоидного отдела толстой кишки по поводу рака ректосигмоидного отдела толстой кишки с формированием межкишечного анастомоза не было исследования гемоциркуляции в зоне анастомоза и не применили противоспаечные средства.

Результаты исследования и их обсуждение

В эксперименте после лапароскопической резекции тонкой кишки с формированием межкишечного анастомоза на 30 кроликах с исследованием гемоциркуляции и применением раствора вископлюса и прозерина не было несостоятельности швов и спайкообразования. В группе сравнения на 10 кроликах после лапароскопической резекции тонкой кишки с формированием межкишечного анастомоза без исследования гемоциркуляции и без применения противоспаечных средств несостоятельность швов анастомоза обнаружена у 2 кроликов, а спайкообразование — у 4 кроликов.

Наши исследования в эксперименте показали следующее:

1. Повышение кровяного давления в интрамуральных сосудах кишки после введения вископлюса и прозерина;
2. После введения вископлюса наблюдается скольжение кишечных петель, а после применения прозерина обнаружены кишечные сокращения.

У 25 больных основной группы после резекции тонкой кишки по поводу кишечной непроходимости, у 27 больных с раком толстой кишки после гемиколэктомий и у 15 больных после резекции ректосигмоидного отдела по поводу рака с формированием межкишечного анастомоза в послеоперационном периоде не было несостоятельности швов анастомозов и спайкообразования (табл. 5).

Таблица 4.

Кровяное давление в зоне межкишечного анастомоза при резекции ректосигмоидного отдела толстой кишки в мм рт.ст. и насыщение кислородом гемоглобина артериальной крови (15 больных)

Место замера	Кровяное давление M±n		КИ	АИ	SPO2 шовной полосы	SPO2 Общее	Шовная полоса
	Интрамуральное	Общее					
ПБР	112,1±0,7/70,6±0,8	120,7±1,7/79,2±0,6	И>1	И>1	92 %±1	90 %±1	Дистальная
БР	121,6±0,8/84±l	120,7±1,7/79,2±0,6					
ПБР	116,3±0,6/80,5±1,1	120,7±1,7/79,2±0,8	И>1	И>1	93 %±1	90 %±1	Проксимальная
БР	122,3±1,3/80,5±1,8	120,7±1,7/79,2±0,6					

Обозначения в таблице те же, что и в таблице 2.

Таблица 5.

Результаты лапароскопических операций на кишечнике

№	Название операции	Заболевание	Группа больных	Число больных	АИ	КИ	НШМА	Спайки
1	Резекция тонкой кишки	Кишечная непроходимость	Основная Сравнения	25 10	И>1 –	И>1 –	0 1	0 4
2	Правосторонняя гемиколэктомия	Рак толстой кишки	Основная Сравнения	15 11	И>1 –	И>1 –	0 2	0 4
3	Левосторонняя гемиколэктомия	Рак толстой кишки	Основная Сравнения	12 8	И>1 –	И>1 –	0 1	0 3
4	Резекция ректосигмоидного отдела топстой кишки	Рак толстой кишки	Основная Сравнения	15 11	И>1 –	И>1 –	0 2	0 5

Обозначения в таблице:
АИ — артериальный индекс; КИ — кислородный индекс; НШМА — несостоятельность швов межкишечного анастомоза

У 10 больных группы сравнения после резекции тонкой кишки с формированием межкишечного анастомоза без исследования гемоциркуляции и без применения противоспаечных средств в послеоперационном периоде установлена несостоятельность швов межкишечного анастомоза у 1 больного и спайкообразование у 4 больных.

У 11 больных группы сравнения после правосторонней гемиколэктомии с формированием межкишечного анастомоза без исследования гемоциркуляции в зоне анастомоза и без применения противоспаечных средств несостоятельность швов межкишечного анастомоза установлена у 2 больных и спайкообразование у 4 больных.

У 8 больных группы сравнения, у которых выполнена левосторонняя гемиколэктомия по поводу рака и формирование межкишечного анастомоза без исследования гемоциркуляции и без применения противоспаечных средств обнаружена несостоятельность швов у 1 больного и спайкообразование у 3 больных.

У 11 больных группы сравнения с формированием межкишечного анастомоза после резекции ректосигмоидного отдела толстой кишки без исследования гемоциркуляции и без применения противоспаечных средств установлена несостоятельность швов у 2 больных и у 5 больных обнаружено спайкообразование (табл. 5).

Выводы

1. Применение раствора вископлюса и прозерина повышает кровяное давление в интрамуральных сосудах кишки.
2. Введение раствора вископлюса в брюшную полость и прозерина внутримышечно предупреждает спайкообразование в брюшной полости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев, С.Р. Комплексный подход в лечении и профилактике спаечной болезни брюшной полости: автореф. дисс. ... канд. мед.наук: 14.00.27 / С.Р. Алиев. — М., 2009. — 32 с.
2. Дубонос, А.А. Профилактика внутрибрюшного спайкообразования путем применения средства барьерного действия «Мезогель»: автореф. дис. ... канд. мед. наук / А.А. Дубонос. — Курск, 2009. — 17 с.
3. Кульчицкий О.А. Диагностика и лечение острой спаечной кишечной непроходимости у детей:дисс. . . .к.м.н.: 14.03.36 / О.А. Кульчицкий. — Москва. — 2023. — 148 С.
4. Михин И.В. Этапный лапароскопический адгезиолизис с применением противоспаечных барьерных средств / И.В. Михин, А.Г. Бебуришвили, А.Н. Акичиц, П.Б. Кремер // Эндоскопическая хирургия. — 2010. — № 1 — С. 20–24
5. Поройский, С.В. Экспериментальное, морфологическое и клиническое обоснование патогенеза, диагностики и профилактики послеоперационного спайкообразования : дис. . . . доктора мед. наук: 14.01.17. / С.В. Поройский. — Волгоград, 2012. — 281 С.
6. Пучкина Г.А. Повышение эффективности лечения и профилактики спаечного процесса у пациенток после лапароскопических гинекологических операций: дисс. . . .к.м.н. — Симферополь. — 2021. — 164 с.
7. Рамазанов М.Р. Хирургия рака кишечника. — Махачкала. — 2008. — С.217–220.
8. Нестеров М.И., Рамазанов М.Р., Алиев Э.А., Абдурахманова З.М., Магомедов А.М. Аппарат для исследования сосудов полых органов во время хирургической операции. Патент RU 2581266 от 20.04.2016.

9. Сафаров Б.И. Комплексная диагностика и лечение острой спаечной тонкокишечной непроходимости: автореферат дисс….к.м.н. — Душанбе. — 2023. — 24 с.
10. Сигал М.З. Трансиллюминация при операциях на полых органах. — М. «Медицина». — 1974. — 183 с.
11. Ступин В.А. Видеолапароскопический адгезиолизис в раннем послеоперационном периоде — как инновация в решении проблемы спаечной болезни брюшной полости / В.А. Ступин, Р.Р. Мударисов, С.Р. Алиев и др. // Инновации и инвестиции. — 2014. — № 2. — С. 118–122.
12. Якимов Л.А. Использование искусственной синовиальной жидкости при лечении остеоартроза / Л.А. Якимов, А.И. Нейманн, И.А. Текеев // Кафедра травматологии и ортопедии. — 2013. — № 1(5). — С. 11–14. http://jkto.ru/id-3/id-2/1-5-2013-/id-3.htmi.
13. Menzies, D. Use of icodextrin 4% solution in the prevention of adhesion formation following general surgery: from the mufticentre ARIEL Registry / D. Menzies, M.H. Pascual, M.K. Walz et al. // Ann. R. Coll. Surg. Engl. — 2006. — Vol. 88, N. 4. — P. 375–82
14. Townsend, K.L. A novel hydrogel–coated polyester mesh prevents postsurgical adhesions in a rat model / K.L. Townsend [et al.] // Journal of Surgical Research. — 2011. — Vol. 167, Issue 2.— P. ell7–el24.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.26

НЕЙРОВОСПАЛЕНИЕ В ПАТОГЕНЕЗЕ ПОСТКОВИДНОГО СИНДРОМА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ). ЧАСТЬ I

NEUROINFLAMMATION IN THE PATHOGENESIS OF POSTCOVOID SYNDROME (LITERATURE REVIEW). PART I

I. Nikiforov
T. Chernobrovkina
G. Kostyuk
L. Burygina
M. Belova
V. Istomina
R. Kardashian
S. Igumnov

Summary. The study of the effects of COVID-19 on the mental sphere revealed the presence of asthenic, anxiety and cognitive disorders, which are persistent and prone to further development. Among the factors determining their occurrence and growth are hypoxia, disorders of the blood coagulation system, metabolic disorders in brain cells, damage to the blood-brain barrier, vasculitis, hyperproduction of reactive oxygen species, nitric oxide, glutamate, neurodegenerative changes, necrosis and apoptosis of neurons. According to many authors, these processes are based on neuroinflammation, the body's universal response to brain–damaging effects. A long-term study of this phenomenon opens the way to effective treatment of brain pathology in post-covid syndrome and rehabilitation of patients with the neuropsychiatric phenotype of COVID-19.

Keywords: postcovoid syndrome, cognitive impairment, pathways to the brain, neuroinflammation, endothelial dysfunction, BBB damage, ACE2 receptors.

Никифоров Игорь Анатольевич
доктор медицинских наук, профессор,
Академия постдипломного образования
ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр
специализированных видов медицинской помощи
и медицинских технологий» Федерального
медико-биологического агентства России», г. Москва
narkolog.ipk@mail.ru
Чернобровкина Тамара Васильевна
доктор медицинских наук, профессор,
Академия постдипломного образования
ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр
специализированных видов медицинской помощи
и медицинских технологий» Федерального
медико-биологического агентства России», г. Москва
narkolog.ipk@mail.ru
Костюк Георгий Петрович
доктор медицинских наук, профессор, главный врач
ГБУЗ г. Москвы, «Психиатрическая клиническая
больница № 1 им. Н.А. Алексеева», г. Москва.
pkb1@zdrav.mos.ru
Бурыгина Лариса Андреевна
кандидат медицинских наук, главный врач
ГБУЗ г. Москвы «Психиатрическая клиническая
больница № 4 им. П.Б. Ганнушкина», г. Москва
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, г. Москва
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. Москва
«Психиатрическая клиническая
больница № 4 им. П.Б. Ганнушкина, г. Москва
pkb4-pb3@zdrav.mos.ru
Кардашян Руслан Антраникович
доктор медицинских наук, ФНМО Федеральное
государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы», г. Москва
rakar_26@mail.ru
Игумнов Сергей Александрович
доктор медицинских наук,
Российский национальный исследовательский
медицинский университет им. Н.И. Пирогова, г. Москва

Аннотация. Изучение последствий COVID-19 для психической сферы обнаружило наличие астенических, тревожных и когнитивных расстройств, которые носят стойкий характер и склонны к дальнейшему развитию. В числе факторов, определяющих их возникновение и рост выделяют: гипоксию, нарушения свертывающей системы крови, нарушение метаболизма в клетках головного мозга, повреждение гематоэнцефалического барьера, васкулит, гиперпродукцию активных форм кислорода, окиси азота, глутамата, нейродегенеративные изменения, некроз и апоптоз нейронов. В основе этих процессов, по мнению многих авторов, лежит нейровоспаление — универсальный ответ организма на повреждающее мозг воздействие. Длительное изучение этого феномена открывает путь к эффективному лечению патологии мозга в постковидном синдроме и реабилитации больных с нейропсихиатрическим фенотипом COVID-19.

Ключевые слова: постковидный синдром, когнитивные нарушения, пути проникновения в головной мозг, нейровоспаление, эндотелиальная дисфункция, повреждение ГЭБ, рецепторы ACE2.

Постковидный синдром. История дефиниции

Пандемия, вызванная коронавирусной инфекцией COVID-19, продолжает свой бег по регионам мира [1]. Количество подтвержденных случаев заражения SARS-Cov-2 по данным ВОЗ на март 2025 г. составляет более 704 млн чел., в России — 23 млн чел. За январь 2025 г. в России заболели 279,4 тыс. чел. [2]. С первых месяцев пандемии наряду с соматическими расстройствами, врачи выявляли значительное число психических нарушений [3]. В США через 14–90 дней после постановки диагноза COVID-19 коморбидность психических расстройств составила 18,1 %, а у 5,8 % пострадавших они возникли впервые [3, 4].

В Китае опросили более 1,7 тыс. больных, переболевших COVID-19. У 76 % обнаружили не менее одного симптома, квалифицированного как продолжение или остаточные явления заболевания. Наиболее распространенными были:

- мышечная слабость — 63 %;
- нарушения сна — 26 %;
- алопеция — 22 %;
- аносмия — 11 %;
- агевзия — 9 %;
- нарушение подвижности — 7 %.

По данным французских исследователей, обследовавших 478 пациентов с COVID-19 после выписки из стационара у 47 % обнаруживались симптомы психических расстройств. Наиболее частыми были:

- астения — 31 %;
- когнитивные расстройства — 21 %–38 %;
- одышка — 16 %;
- нарушения сна — 54 % [5].

В одном из метаанализов [6] охватившим наблюдения за 47910 пациентами, переболевшими коронавирусной инфекцией 4 месяца назад, приводятся данные о распространенности психоневрологических расстройств. Авторы описывают:

- тяжелую и изнурительную усталость;
- головню боль;
- «мозговой туман»;
- снижение памяти;
- резкие перепады настроения в сочетании с непереносимостью физических упражнений.

Длительное сохранение симптомов отмечается у 80 % переболевших COVID-19. Наиболее частыми были:

- утомляемость — 58 %;
- головная боль — 44 %;
- дефицит внимания — 27 %;
- выпадение волос — 25 %;
- одышка — 24 %.

Из числа неврологических и психических симптомов наиболее частыми были:

- агевзия — 23 %;
- аносмия — 21 %;
- нарушения памяти — 16 %;
- беспокойство — 13 %
- сниженное настроение — 12 %.

Близкие по значениям данные получены другими исследователями [7, 8].

В одной из публикаций оценивали состояние здоровья 968 больных, перенесших коронавирусную инфекцию каждые 2 месяца в течение года. Отмечено, что 85 % пациентов, имевших жалобы через 2 месяца, сохранили их и через год, что значительно снижало их качество жизни [9].

В целом, около 30 % населения, переболевших COVID-19, страдали от головных болей, головокружения,

аносмии и агевзии. Реже встречались эписиндром, невралгии, энцефалит, острые нарушения мозгового кровообращения, синдром Гийена-Барре. Ряд психоневрологических симптомов появились раньше легочных. [10, 11].

Обсуждая феномен «длительного ковида», исследователи в разных странах стали предлагать различные термины для его характеристики: пролонгированный, длительный, хронический. Национальный институт охраны здоровья и совершенствования медицинской помощи (NICE, UK) предложил определение «длинный COVID» (Long COVID) — состояние с набором сохраняющихся симптомов COVID-19 от 4 до 12 недель, с явлениями постковидного синдрома. К постковидному синдрому были отнесены симптомы и синдромы, которые имеют место через 12 недель заболевания и не могут быть объяснены другой патологией [12].

Американский центр по контролю и профилактике заболеваний (CDC, USA) рассматривает постковидный синдром (ПКС) как сочетание соматических и психических симптомов, развивающихся через 4 недели после перенесенного COVID-19 [13].

Росздравнадзор определил ПКС как «комплекс симптомов, которые беспокоят человека после перенесенного COVID-19, когда уже нет вируса и острых проявлений инфекции или ее осложнений, основной курс лечения завершен, но пациент не чувствует себя здоровым» [14].

В декабре 2020 г. в международную классификацию болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) был введен код U09 «Состояние после COVID-19, включающий в себя ПКС» [15].

По данным ВОЗ ПКС — состояние, возникающее после COVID-19 через 3 месяца, продолжительностью не менее 2 месяцев, не объясняющееся никакими иными заболеваниями (World Health Organization. A clinical case definition of post COVID-19 condition by a Delphi consensus, 6 October 2021. Geneva, Switzerland).

ПКС — полиорганное заболевание, симптомы которого сохраняются в течение месяцев и даже лет [16].

ПКС включает в себя широкий спектр клинических проявлений, затрагивающих различные системы органов. У большинства людей, страдающих ПКС, симптомы постепенно проходят с течением времени, но у некоторых они сохраняются в течение многих месяцев и даже лет после заражения SARS-CoV-2 и оказывают значительное влияние на качество жизни [16].

Длительная когнитивная дисфункция является одним из наиболее распространенных нарушений при ПКС, поражающих от 17 до 28 % людей более чем через 12 недель после заражения и сохраняющаяся в некоторых случаях в течение нескольких лет [17].

При этом исследователи не нашли различий в рисках неврологических и психиатрических исходов между инфекциями вызванными вариантами «Омикрон» (B.1.1.529) и «Дельта» (B.1.617.2) [16].

Наиболее частые симптомы при ПКС — это усталость, проблемы с памятью, снижение концентрации и нарушение внимания. По результатам больших метаанализов F. Ceban et al. и Q. Han et al. резюмируют, что общая доля лиц с когнитивными нарушениями составляет 19–22 %. Когнитивным нарушениям (КН) сопутствуют также нарушения сна, тревога и депрессия [17, 18, 19, 20, 21].

Затяжной характер КН отмечен у половины больных после заражения SARS-CoV-2. Метаанализ с участием 2049 пациентов, наблюдающихся 7 месяцев, показал, что:

- снижение когнитивных функций характерно для COVID-19;
- оно начинается уже в острой стадии заболевания;
- сохраняется в течение длительного времени;
- характерны расстройства памяти, внимания и исполнительных функций [22].

Другие авторы обращают внимание, что у 1/3 пациентов с ПКС нарушения сна сохраняется до 6 мес. и более, а частота депрессии, тревоги, «мозгового тумана», астенических и диссомнических расстройств увеличивалась с течением времени [23, 24, 25].

Аналогичные данные публикуются другими авторами [5, 6].

Ряд ученых считают, что постковидный «неврологический» синдром включает в себя:

- цепь взаимосвязанных патологических процессов, которые сохраняются продолжительное время после окончания острой фазы заболевания;
- многообразные и сложные нейрональные, нейрососудистые, иммунные, нейрорегуляторные изменения и очаговые повреждения;
- повреждения нервной системы в острой фазе воспалительного процесса;
- посттромботические осложнения;
- геморрагические осложнения;
- последствия интенсивной терапии.

Исследователи описывают характерные для «неврологического» ПКС симптомы:

- астенический синдром;
- «мозговой туман»;
- мышечная боль;
- головокружение;

- головные боли;
- аносмия;
- нарушение памяти;
- дизэксекутивный синдром (при разобщении дорсолатеральных лобно-подкорковых кругов: нарушение функций планирования, регуляции, программирования и контроля деятельности);
- атаксия;
- мышечная слабость;
- нарушение сна.

Симптомы характеризуются персистирующим течением, длительность их пока не определена. Клинически они напоминают синдром хронической усталости и, вероятно, определяется вялотекущим аутоиммунным воспалительным процессом.

Нейропсихиатрические и нейропсихологические последствия:
- тревога;
- депрессия;
- ПТСР

сохраняются в течение 6 мес. после выписки из больницы [26].

Учеными обсуждаются такие патофизиологические механизмы развития ПКС как:
- прямое поражение мозга в остром периоде COVID-19;
- низкий уровень персистенции антигенов к SARS-Cov-2 в ЦНС;
- реактивация латентных вирусов герпеса;
- эпигенетический ответ;
- центральная и периферическая гипоксия;
- пролонгированное системное воспаление;
- нейровоспаление;
- аутоиммунный ответ;
- микрососудистое воспаление и микротромбоз;
- нарушение метаболизма глюкозы в ГМ [16];
- стимуляция нейродегенерации [25].

Пути проникновения SARS-Cov-2 в головной мозг

Рассматривают 3 основных пути инвазии SARS-Cov-2 в ЦНС. Гипотеза подтверждена в экспериментальных исследованиях на животных и клеточных моделях:
1) гематогенный — с током крови при нарушении гематоэнцефалического барьера (ГЭБ), а также через взаимодействие вируса с рецептором ACE2 на эндотелиальных клетках с последующим проникновением в мозг, минуя ГЭБ, трансэндотелиальным путем;
2) нейрональный — из периферической нервной системы в ЦНС посредством обонятельного, лицевого, языкоглоточного и блуждающего нервов;
3) транссинаптический:
   — с помощью энтероцитов кишечного сплетения, симпатических нервов и дендритных клеток.
   — миграция коронавируса от механорецепторов и хеморецепторов легких в ствол мозга и сердечно-легочный центр;
4) иммунологический — вирус инфицирует резидентные иммунные клетки слизистых оболочек, которые впоследствии распространяются по различным органам и тканям. [25, 27, 28].

Повреждение ГЭБ сопровождается каскадом патофизиологических процессов:
- Т-лимфоциты продуцируют активные формы кислорода и провоспалительные цитокины (ИЛ-12, ИФН-γ) [29].
- усиление нейровоспаления;
- трансфузия эритроцитов через арахноидальные области, скопление эритроцитов между клетками;
- нарушение целостности коллагено-волокнистого слоя оболочек мозга;
- нарушение оттока ликвора в субдуральное пространство;
- появление гидроцефалии за счет проникновения крови в ликвор [30, 31].
- распад тромбоцитов;
- гиперсеротонинемия;
- спазм макро и микрососудов в ГМ;
- развитие хронического асептического лептоменингита и спаечного процесса;
- запуск каскада воспалительных реакций белком проксиредоксаном (содержится в эритроцитах);
- активация NF-kB и усиление нейровоспаления и как следствие — апоптоза нейронов;
- проникновение в кровяное русло продуктов метаболизма клеток головного мозга;
- повышение уровня антител к рецепторам глутамата;
- развитие аутоиммунного процесса [32].

О повышении проницаемости ГЭБ свидетельствуют данные патологоанатомов:
- выраженный переваскулярный отек;
- периваскулярные кровоизлияния;
- вирусемия;
- вирус или вирусные белки в эндотелиальных клетках;
- расширение переваскулярных пространств;
- полнокровие артериол, венул и капилляров;
- эритростаз и формирование тромбов в сосудах [25, 33];
- повышение количества капилляров, лишенных эпителиальной выстилки (в связи с инактивацией белка NEMO (критично для выживаемости эндотелиальных клеток в мозге) протеазой M^{pro} коронавируса) [34].

S-1 белок коронавируса может имитировать действие вируса, вызывая сходные реакции [35].

Показана активная репликация SARS-Cov-2 в эндотелиальных клетках с проникновением в ЦНС трансцеллюлярным путем при сохранении межклеточных контактов [36].

Нейрональный путь проникновения

В исследованиях in vitro доказано, что коронавирусы могут персистировать в ЦНС, в течение 1 года после выздоровления от острого энцефалита [37]. Этому способствуют два фактора: подавление иммунного ответа и его дисрегуляция [38, 39].

Нейрональный путь является значимым путем проникновения нейротропных вирусов в мозг. Вирусы могут мигрировать, заражая чувствительные или двигательные нервные окончания и используя антероградный или ретроградный нейрональный транспорт за счет моторных белков, динеина и кинезинов [40]. Ретроградный аксональный транспорт ранее был показан при действии различных инфекционных агентов, по черепным нервам, таким как обонятельные, тройничный, языкоглоточный и блуждающий.

В экспериментальных работах пролиферация SARS-CoV-2 в обонятельном эпителии сопровождалась воспалительным процессом, аносмией и агевзией [41]. У больных в пробах обонятельного эпителия обнаружены транскрипты вируса и инфицированные коронавирусом клетки.

На аутопсийном материале методами ПЦР, иммуногистохимии и электронной микроскопии РНК вируса обнаружена в носоглотке и мозге [42].

Есть информация о тропности коронавируса к определенным отделам ЦНС:

- ствол головного мозга;
- гипоталамус;
- орбитофронтальная кора;
- мозжечок.

МРНК белка ACE2 обнаружена в клетках коры головного мозга, гипоталамуса и ствола мозга.

Рецепторы ACE2 обильно представлены в вентролатеральном отделе ствола и в ядре одиночного пути, принимающих участие в регуляции дыхательного цикла. Дисфункция ствола головного мозга, вовлечение ядра одиночного пути приводят к системным вегетативным расстройствам, нарушениям гомеостаза, дыхания, артериального давления [43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50].

Способствуют проникновению коронавируса в ЦНС следующие факторы:

- вирусная нагрузка в острой стадии инфекции;
- тяжесть системных проявлений болезни;
- состояние иммунитета;
- предрасположенность к различным нейродегенеративным и демилиенизирующим заболеваниям ЦНС;
- регенеративный потенциал пациента по удалению продуктов распада и метаболитов (агрегированные белки, амилоидоподобные тельца) из ЦНС [25].

Транссинаптический путь проникновения

L.Jiao и соавт. проведя исследование на экспериментальных моделях, показали, что SARS-Cov-2 обладает способностью проникать в ЦНС через обонятельные пути [51].

Вирус из носа и через верхние дыхательные пути, достигает головного мозга через обонятельный нерв, который проецирует дендриты в полость носа, и через сетчатую пластинку — в обонятельную луковицу, это объясняет гипосмию и гипогевзию как неврологические проявления.

После проникновения в мозг молекулы индуцируют врожденный иммунный ответ, особенно в перицитах, макрофагах и микроглии, еще больше увеличивая выработку цитокинов и ухудшая функции мозга. Эта иммунная дисрегуляция может способствовать изменениям в сознании и возникновению когнитивных нарушений. Цитокиновый шторм может привести к разрушению ГЭБ без прямой вирусной инвазии и быть ответственным за развитие острой энцефалопатии или синдрома Гийена-Барре [5, 52].

Транссинаптический путь SARS-Cov-2 проходит через ГЭБ посредством вирусной клеточной инвазии, миграции с лейкоцитами, моноцитами и макрофагами с инфицированием нейронов, поражая головной мозг. Мишенью проникновения SARS-Cov-2 в ЦНС являются эндотелиальные клетки ГЭБ, экспрессирующие рецепторы АПФ-2 и CD209L, и периферическая нервная система (ПНС), поражается зрительный и обонятельный нервы, эндотелий сосудов, нарушается интраназальная инокуляция [52].

Ряд авторов [53] предполагает, что у пациентов, переболевших Covid-19, ретроградный или антероградный синаптический и аксональный транспорт SARS-Cov-2 может привести к медленному диффузному распространению по всей ЦНС через месяцы и даже годы после заражения.

Большинство острых и хронических вирусных инфекций начинаются на поверхности эпителиальных или эндотелиальных клеток с местной воспалительной реакции.

Схема 1

Механизм проникновения SARS-Cov-2 в организм человека

Вирион SARS-Cov-2

N-белок	M-белок	**S-белок**	E-белок

$TMPRSS_2$→←$TMPRSS_4$
(белки из семейства сериновых протеаз, облегчают проникновение коронавируса в клетки)

↓

Рецептор ASE 2
1. В легких, почках, кишечнике, сердце, сосудах нервной системы.
2. В головном мозге (дыхательном центре, гипоталамусе, стволе мозга, центре терморегуляции в коре)

↓

Связывание S-белка с ASE 2

↓

Образование спайк-рецепторных комплексов

↓

Блокировка ASE 2
(дисбаланс вазопротективного и вазоконстриктивного влияния, нарушение регуляции сосудистого тонуса)

↓

Активация цитокиновых путей в т.ч. в микроглии

↓

Образование NF-kB ядерного фактора

↓

Цитокиновый шторм

↓

Активация нейроглии

↓

Нарушение функции нейронов (ствол мозга, гипоталамус, орбитофронтальная кора, мозжечок)

↓

Нейропсихиатрические расстройства

Рецепторы распознают вирусные молекулы после прикрепления к мембране и проникновения в клетку.

Распознавание инфекции запускает внутренний местный иммунитет, включающий повышенный синтез противовирусных белков и некоторых цитокинов, в частности ИФН-α/β.

Если на этом этапе репликация вируса не подавлена, активируются сигнальные клетки (макрофаги, дендритные клетки), которые тоже продуцируют цитокины. С их помощью активируется паракринная передача сигналов от инфицированных клеток к неинфицированным (врожденный иммунитет). Через несколько дней может активизироваться адаптивный иммунный ответ с образованием инфекционно-специфических АТ и Т-клеток (приобретенный иммунитет).

Если в месте первичного инфицирования вирусы не инактивированы, они могут распространяться, активно реплицироваться и вызывать чрезмерную реакцию врожденного иммунного ответа.

Врожденный иммунный ответ активируется быстро и сильно, он включает активацию:

- системы комплемента;
- естественных киллеров (NK-клеток);
- нейтрофилов и других гранулоцитов.

Возникает выраженная системная иммунная реакция [26].

С точки зрения отечественных авторов [26] механизм проникновения коронавируса в организм человека выглядит следующим образом (схема 1).

Патологические изменения в ЦНС представляют собой комбинацию возможных прямых эффектов вируса и опосредованных эффектов генерализованного или локального воспалительного ответов, гиперкоагуляции, полиорганной недостаточности [25].

После действия инфекционного фактора повреждение аксонов может продолжаться в течение многих месяцев из-за метаболических нарушений [32].

Повреждение нейроглии, нейронов, сосудов и миелина запускают аутоиммунные процессы и существенно изменяют метаболизм тканей мозга.

Хронический воспалительный процесс, нарушение функции ГЭБ, регуляторных пептидов, синтеза белков и ферментов определяют степень нарушения высших корковых функций у больных с ПКС.

Предполагают, что механизмы возникновения ПКС являются многообразными:

- аберрантные иммунные реакции;
- вирусная персистенция;
- воспалительные процессы [26].

Во второй части настоящего литературного обзора будет представлена информация о механизмах нейровоспаления в постковидном синдроме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mazza M.G. et al. post-COVID-19 depressive symptoms: epidemiology, pathophysiology, and pharmacological treatment //CNS drugs. — 2022. — Т. 36. — №. 7. — С. 681–702. DOI:10.1007/s40263-022-00931-3.
2. Коронавирус в России (онлайн статистика). Электронный ресурс. Режим доступа: https://coronavirus-graph.ru/rossiya . (Дата обращения 28 мая 2025 г.)
3. Taquet M. et al. Bidirectional associations between COVID-19 and psychiatric disorder: retrospective cohort studies of 62 354 COVID-19 cases in the USA //The Lancet Psychiatry. — 2021. — Т. 8. — №. 2. — С. 130–140., DOI: 10.1016/S2215-0366(20)30462-4.
4. Глущенко Я.Ю., Славгородская М.С., Дмитриев М.Н. Аффективные расстройства, впервые возникшие в постковидный период: анализ клинических случаев //Главный врач Юга России. — 2023. — №. 1 (87). — С. 33–37.
5. Кабыш С.С., Карпенкова А.Д., Прокопенко С.В. Когнитивные нарушения и COVID-19. Сибирское медицинское обозрение. — 2022. — № 2. — С. 40–48. DOI: 10.20333/25000136-2022-2-40-48.
6. Lopez-Leon S. et al. More than 50 long-term effects of COVID-19: a systematic review and meta-analysis //Scientific reports. — 2021. — Т. 11. — №. 1. — С. 16144.
7. Munblit D. et al. Studying the post-COVID-19 condition research challenges, strategies, and importance of Core Outcome Set development //BMC medicine. — 2022. — Т. 20. — №. 1. — С. 50. DOI: 10.1186/s12916-021-02222-y.
8. Long Q. et al. Follow-ups on persistent symptoms and pulmonary function among post-acute COVID-19 patients: a systematic review and meta-analysis //Frontiers in medicine. — 2021. — Т. 8. — С. 702635. DOI: 10.3389/fmed.2021.702635.
9. Васильева А.В. Постковидный синдром: в фокусе психоневрологические нарушения //Медицинский совет. — 2022. — Т. 16. — №. 21. — С. 88–94. DOI: 10.21518/2079-701X-2022-16-21-88-94.
10. Никифоров И.А., Костюк Г.П., Бурыгина Л.А. и др. Расстройства нервной системы при коронавирусной инфекции //Вестник Медицинского стоматологического института. — 2022. — № 3(62). — С. 47–54.
11. Huang C., Wang Y., Li X., Ren L., Zhao J. et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China //The lancet. — 2020. — Т. 395. — №. 10223. — С. 497–506.

12. Shah W., Hillman T., Playford E.D., & Hishmeh, L. Managing the long-term effects of covid-19: summary of NCE, SIGN, and RCGP rapid guideline //bmj. — 2021. — Т. 372. DOI: 10.1136/bmj.nl36.
13. 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. DOI: 10.1080/23744235.2021.1924397.
14. Петрова Н.Н., Кудряшов А.В., Матвиевская О.В., Мухин АА, Лаврова В.А., Чумаков Е.М. и др. Депрессивные состояния в структуре постковидного синдрома: особенности и терапия //Обозрение психиатрии и медицинской психологии имени В.М. Бехтерева. — 2022. — Т. 56. — №. 1. — С. 16–24. DOI: 10.31363/2313–7053–2022-56-1-16-24.
15. Захаров Д.В., Буряк Ю.В. Постковидные когнитивные расстройства. Современный взгляд на проблему, патогенез и терапию //Обозрение психиатрии и медицинской психологии имени В.М. Бехтерева. — 2021. — Т. 55. — №. 4. — С. 97–105. DOI: 10.31363/2313–7053-2021-57-4-97-105.
16. Möller M., Borg K., Janson C., Lerm M., Normark J., Niward K. Cognitive dysfunction in post-COVID-19 condition: Mechanisms, management, and rehabilitation // Journal of internal medicine. — 2023. — Т. 294. — №. 5. — С. 563–581. DOI: 10.1111/joim.l 3720.
17. Ceban F., Ling S., Lui L.M., Lee Y., Gill H., Teopiz K.M., ... & McIntyre, R.S. 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.
18. Han Q., Zheng B., Daines L., Sheikh, A. Long-term sequelae of COVID-19: a systematic review and meta-analysis of one-year follow-up studies on post-COVID symptoms //Pathogens. — 2022. — Т. 11. — №. 2. — С. 269. DOI: 103390/pathogens11020269.
19. Аронов П.В., Бельская Г.Н., Никифоров И.А. Современные подходы к диагностике и лечению тревожных расстройств, ассоциированных с новой коронавирусной инфекцией //Медицинский совет. — 2021. — №. 10. — С. 66–79.
20. Никифоров И.А., Костюк Г.П., Бурыгина Л.А. и др. Психические расстройства коморбидные covid-19 (обзор литературы) // Вестник медицинского стоматологического института. — 2023. — №. 2 — Т. 65. — С. 36–43.
21. Иванова А.П., Кузнецова М.А., Виноградов Е.И., Каракулова Ю.В., Селянина Н.В. Постковидные когнитивные нарушения (обзор литературы) // Пермский медицинский журнал (сетевое издание «Perm medical journal»). — 2024. — Т. 41. — №3. — С. 51–59. DOI: 10.17816/pmj41351-59.
22. Crivelli L., Palmer K., Calandri I. et al. Changes in cognitive functioning after COVID-19: A systematic review and meta-analysis //Alzheimer's & Dementia. — 2022. — Т. 18. — №. 5. — С. 1047-1066. DOI:10.1002/alz.12644.
23. Premraj L., Kannapadi N.V., Briggs J., et al. Mid and long-term neurological and neuropsychiatric manifestations of post-COVID-19 syndrome: A meta-analysis. // J Neurol Sci. 2022; 434:120162. DOI: 10.1016/j.jns.2022.120162
24. Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции COVID-19» Министерство здравоохранения РФ). Электронный ресурс. Режим доступа: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=458540 Дата обращения 25.05.2025 г.
25. Евдокименко А.Н., Ануфриев П.Л., Каниболоцкий А.А., Келли Е.И. Инвазия и персистенция SARS-CoV-2 в центральной нервной системе: взгляд нейроморфолога //Бюллетень Национального общества по изучению болезни Паркинсона и расстройств движений. 2022. №2. Электронный ресурс. Режим доступа: URL: https://cyberleninka.ru/article/n/invaziya-i-persistentsiya-sars-cov-2-v-tsentralnoy-nervnoy-sisteme-vzglyad-neyromorfologa (Дата обращения: 30.04.2025.)
26. Сапроненкова О.А., Широков Е.А. Постковидные нейрокогнитивные расстройства. Клиническая медицина. 2023;101(6):265-274. DOI: 10.30629/0023-2149-2023-101-6-265-274
27. Sarubbo F. et al. Neurological consequences of COVID-19 and brain related pathogenic mechanisms: a new challenge for neuroscience //Brain, Behavior, & Immunity-Health. — 2022. — Т. 19. — С. 100399.
28. Machado-Curbelo C. Severe COVID-19 cases: Is respiratory distress partially explained by central nervous system involvement? //Medicc Review. — 2022. — Т. 22. — С. 38–39.
29. Kim J.Y. et al. Inflammation after ischemic stroke: the role of leukocytes and glial cells //Experimental neurobiology. — 2016. — Т. 25. — №. 5. — С. 241.
30. Williams A.J., Wei H.H., Dave J.R., Tortella F.C. Acute and delayed neuroinflammatory response following experimental penetrating ballistic brain injury in the rat. J Neuroinflammation. 2007 Jul 2; 4:17. DOI: 10.1186/1742-2094-4-17.
31. Блинов Д.В. Современные представления о роли нарушения резистентности гематоэнцефалического барьера в патогенезе заболеваний ЦНС. Часть 1: строение и формирование гематоэнцефалического барьера //Эпилепсия и пароксизмальные состояния. — 2013. — Т. 5. — №. 3. — С. 65–75.
32. Карчевская А.Е, Паюшина О.В., Шарова Е.В., Окнина Л.Б., Титов, О.Ю. Нейровоспаление как процесс вторичного повреждения при черепно-мозговой травме //Анналы клинической и экспериментальной неврологии. — 2023. — Т. 17. — №. 1. — С. 55–68.
33. Andersson M.I. et al. SARS-CoV-2 RNA detected in blood products from patients with COVID-19 is not associated with infectious virus //Wellcome open research. — 2020. — Т. 5. — С. 181.
34. Wenzel J. et al. The SARS-CoV-2 main protease Mpro causes microvascular brain pathology by cleaving NEMO in brain endothelial cells //Nature neuroscience. — 2021. — Т. 24. — №. 11. — С. 1522–1533.
35. Nuovo G.J. et al. Endothelial cell damage is the central part of COVID-19 and a mouse model induced by injection of the S1 subunit of the spike protein //Annals of diagnostic pathology. — 2021. — Т. 51. — С. 151682.
36. Krasemann S. et al. The blood-brain barrier is dysregulated in COVID-19 and serves as a CNS entry route for SARS-CoV-2 //Stem cell reports. — 2022. — Т. 17. — №. 2. — С. 307–320.
37. Arbour N. et al. Neuroinvasion by human respiratory coronaviruses //Journal of virology. — 2000. — Т. 74. — №. 19. — С. 8913–8921.
38. Koralnik I.J., Tyler K.L. COVID-19: a global threat to the nervous system //Annals of neurology. — 2020. — Т. 88. — №. 1. — С. 1-11.
39. Diao B. et al. Reduction and functional exhaustion of T cells in patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19) //Frontiers in immunology. — 2020. — Т. 11. — С. 827.

40. Wu Y. et al. Nervous system involvement after infection with COVID-19 and other coronaviruses //Brain, behavior, and immunity. — 2020. — Т. 87. — С. 18–22.
41. de Melo G.D. et al. COVID-19–related anosmia is associated with viral persistence and inflammation in human olfactory epithelium and brain infection in hamsters //Science translational medicine. — 2021. — Т. 13. — №. 596. — С. eabf8396.
42. Meinhardt J. et al. Olfactory transmucosal SARS-CoV-2 invasion as a port of central nervous system entry in individuals with COVID-19 //Nature neuroscience. — 2021. — Т. 24. — №. 2. — С. 168–175.
43. Matschke J. et al. Neuropathology of patients with COVID-19 in Germany: a post-mortem case series //The Lancet Neurology. — 2020. — Т. 19. — №. 11. — С. 919–929. DOI: 10.1016/51474-4422(20)30308-2
44. Gu J., Gong E., Zhang B., et al. Multiple organ infection and the pathogenesis of SARS. J Exp Med. 2005 Aug 1;202(3):415–24. DOI: 10.1084/jem.20050828.
45. Pajo A.T. et al. Neuropathologic findings of patients with COVID-19: a systematic review //Neurological Sciences. — 2021. — Т. 42. — С. 1255–1266.
46. Sieracka J. et al. COVID-19–neuropathological point of view, pathobiology, and dilemmas after the first year of the pandemic struggle //Folia Neuropathologica. — 2021. — Т. 59. — №. 1. — С. 1–16.
47. Crunfli F. et al. Morphological, cellular, and molecular basis of brain infection in COVID-19 patients //Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2022. — Т. 119. — №. 35. — С. e2200960119.
48. Song E. et al. Neuroinvasion of SARS-CoV-2 in human and mouse brain //Journal of Experimental Medicine. — 2021. — Т. 218. — №. 3. — С. e20202135.
49. Rhea E.M. et al. The S1 protein of SARS-CoV-2 crosses the blood–brain barrier in mice //Nature neuroscience. — 2021. — Т. 24. — №. 3. — С. 368–378.
50. Solomon I.H. et al. Neuropathological features of Covid-19 //New England Journal of Medicine. — 2020. — Т. 383. — №. 10. — С. 989–992.
51. Jiao L. et al. The olfactory route is a potential way for SARS-CoV-2 to invade the central nervous system of rhesus monkeys //Signal transduction and targeted therapy. — 2021. — Т. 6. — №. 1. — С. 169. DOI: 10.1038/s41392-021-00591-7
52. Ойноткинова О.Ш., Мацкеплишвили С.Т., Ларина В.Н., Камынина Н.Н., Каравашкина Е.А., Бралюк М.А., Рыжих А.А., Пономарева Т.А., Бикбаева Л.И., Дементьева А.С. Влияние SARS-CoV-2 на мультиорганное поражение и реабилитационная тактика в постковидном периоде. Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. — 2022. — Т. 15. — №. 2. — С. 202–214. DOI: 10.17116/kardio202215021202
53. Wang E.Y. et al. Diverse functional autoantibodies in patients with COVID-19 //Nature. — 2021. — Т. 595. — №. 7866. — С. 283–288.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.30

ДИНАМИКА МИНЕРАЛИЗУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ФТОРИДОВ ЗУБНОЙ ПАСТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШКОЛЬНИКАМИ КАК СРЕДСТВО ЕЖЕДНЕВНОЙ ГИГИЕНЫ

DYNAMICS OF MINERALIZING ACTION OF TOOTHPASTE FLUORIDES WHEN USED BY SCHOOLCHILDREN AS A MEANS OF DAILY HYGIENE

A. Rubezhov
S. Ulitovskiy
N. Abramova

Summary. Monitoring the mineralizing effect of caries-preventive agents, especially using non-invasive methods, allows us to evaluate the effectiveness of preventive measures.
A prospective study of enamel electrical conductivity fluctuations to evaluate the mineralizing effectiveness of fluoride-containing toothpastes.
The statistically significant data ($p \leq 0.05$) obtained allowed us to establish a decrease in the electrical conductivity of hard tissues after the use of fluoride-containing caries-preventive personal hygiene products.
The revealed dynamics of electrical conductivity allows us to use this test to monitor the effectiveness of mineralizing therapy in children aged 6 to 15 years.

Keywords: dental caries, fluoride toothpastes, mineralization, enamel conductivity.

Рубежов Александр Леонидович
кандидат медицинских наук, доцент,
Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург
Aleksandr.Rubezhov@szgmu.ru
Улитовский Сергей Борисович
доктор медицинских наук, профессор,
Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова;
Санкт-Петербургский государственный университет
Sergio-1954@yandex.ru
Абрамова Наталия Евгеньевна
кандидат медицинских наук, доцент,
Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург
Nataliya.Abramova@szgmu.ru

Аннотация. Мониторирование минерализующего действия кариеспрофилактических средств, особенно с помощью неинвазивных методик, позволяет оценить эффективность профилактических мер.
Проспективное исследование колебаний электропроводности эмали для оценки минерализующей эффективности фторсодержащих зубных паст.
Полученные, статистически значимые данные ($p \leq 0{,}05$), позволили установить снижение электропроводимости твердых тканей после применения фторсодержащих кариеспрофилактичеких средств индивидуальной гигиены.
Выявленная динамика электропроводимости позволяет использовать данный тест для мониторинга эффективности проводимой минерализующей терапии у детей в возрасте от 6 до 15 лет.

Ключевые слова: кариес зубов, фтористые зубные пасты, минерализация, электропроводность эмали.

Актуальность исследования

Кариес является одним из наиболее распространенных заболеваний в мире. Существует широкий спектр методов лечения на разных стадиях заболевания, начиная от неоперативных профилактических, таких как улучшение гигиены рта, диеты с пониженным содержанием сахаров и системного и местного применения фторидов, до минимально инвазивных методов лечения на начальных стадиях поражения, которые ограничиваются в пределах эмали, и заканчиваются избирательным удалением и восстановлением обширных поражений [1, 2]. Эмаль зубов является наиболее минерализованной тканью человеческого тела. Ее можно рассматривать как композитный материал, состоящий из 96 % неорганического материала и 4 % органического материала и воды. Неорганический материал в основном состоит из фосфата кальция, называемого гидроксиапатитом, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH_4)_2$ [2, 3].

Эмаль раньше рассматривалась как неэлектропроводящий материал, что на деле не соответствует действительности. Но, в исследованиях, когда эмаль подвергалась воздействию кислот при имитации кариозных процессов, происходили отдельные структурные изменения приводящие к снижению качества ее кристаллической решетки из-за образования пустот [3]. В экспериментах обнаружено, что эмаль, при повыше-

нии температуры, демонстрирует некоторые эффекты электрического заряда, авторами сообщается об ионной проводимости эмали [4]. Что характерно для биологической ткани, так как электрические сигналы важны для человеческого организма. Электрический отклик поликристаллических твердых тел, таких как эмаль, изменяется самой сложной микроструктурой, размером мельчайших структур эмали (около 200 нм) [5]. J. Macey [6] и R. Reyes-Gasga [7] обнаружили, что сопротивление зубной эмали высокое, но сосуществует с зонами низкого сопротивления из-за гиперминерализации. В.К. Леонтьев с соавт [8, 9, 10] пришли к выводу, что сопротивление эмали чувствительно к дефектам биоматериала, в которых происходит изменение ионной проводимости. J. Macey и R. Reyes-Gasga с соавт. показали, что проводимость в эмали имеет ионный тип [6, 7].

Многочисленными исследованиями доказано, что фторид играет важную роль в профилактике кариеса [11, 12, 13, 14]. Фтор относится к группе химических элементов, называемых галогенами, что указывает на их способность образовывать соли в соединении с металлом. Галогены, и, в частности, фтор, очень реакционноспособны, так как им не хватает одного электрона до полной внешней оболочки. Этот электрон можно получить, реагируя, например, с кальцием, образуя фторид кальция (CaF_2). Таким образом, фторид — это термин, используемый, когда фтор соединяется с положительно заряженным аналогом. Комплексы часто состоят из кристаллических ионных солей, таких как фторапатит ($Ca_{10}[PO_4]_6F_2$). Содержание фторида обычно выражается в частях на миллион (ppm). Повышенные уровни фторида в поверхностной эмали связаны со следующими фактами: доступ к фториду (через слюну) больше на поверхности эмали по сравнению с более глубокими слоями в течение всего процесса минерализации. Фтор может дополнительно накапливаться в поверхностной эмали во время и после прорезывания из-за ее созревания [15, 16, 17, 18].

Фтористые препараты — это, прежде всего, зубные пасты, разрешенные для самостоятельного использования для детей и взрослых. Содержание F (ppm) в зубных пастах, для детей с временными зубами: 0,05 % F — <500; для детей со сменным прикусом— зубные пасты 0,1 % F — 1100; для пациентов с постоянными зубами — зубная паста 0,15 % F — 1500. В твердых тканях зубов фторид распределяется очень характерным образом. В поверхностной эмали концентрация фторида довольно высока, около 2500 ppm, и, как известно, около 7 % поверхностной эмали состоит из фторапатита / гидроксифторапатита (ФАП / ФГАП). Это резко контрастирует с подповерхностной эмалью, которая содержит всего около 50–100 ppm. В дентине, особенно в пульпарной части, уровень фторида выше, чем в эмали [17, 18].

Состояние высокой насыщенности поверхностного слоя ФАП / ФГАП коррелирует с повышением кислотоустойчивости, а значит ведет к увеличению кариесрезистентности. Практическое здравоохранение нуждается в алгоритме оценки состояния поверхностного слоя эмали и мониторинга эффективности, проводимой реминерализующей терапии [19].

Измерять электрический отклик в зависимости от степени насыщенности минеральными отложениями ФАП / ФГАП можно с использованием метода электопроводимости, возбуждением нервной системы пульпы посредством электрической стимуляции [20]. Оптимальным током для проведения электроодонтодиагностики является синусоидальный переменный ток частотой 50 Гц, который не вызывает поляризации тканей, легко дозируется и вызывает четкое, но не болезненное ощущение, дает наименьший разброс показателей при повторных исследованиях. Электрический тест выполняется с помощью электрического тестера пульпы (ЭПТ). Это монополярное устройство пропускает высокочастотный электрический ток от кончика зонда через зуб. Пока ток проходит через зуб, активные ноцицептивные волокна А-дельта будут стимулироваться, что приведет к ощущению покалывания [21]. И основано на предположении, что электрические стимулы вызывают ионное изменение в нервной мембране, тем самым вызывая потенциал действия с быстрым скачкообразным действием в перехватах Ранвье в миелинизированных нервах [22]. При возникновении кариозной фиссуры выявляется разница в показаниях электропроводности со здоровой эмалью, что связано с развитием подповерхностной деминерализации, приводящей в последующем к разрушению самого кристалла эмали [23]. М.Н. Митропанова с соавт. [24] отмечали, что для наиболее эффективной реминерализации структур зуба необходимо не только достаточное поступление минеральных компонентов к поверхности твердых тканей зуба, но и одновременная нормализация нарушенных свойств слюны. Местное действие зубных паст способствует процессу минерализации в процессе роста и созревания твердых тканей зубов человека. Оптимальным током для проведения электроодонтодиагностики оказался синусоидальный переменный ток частотой 50 Гц, который не вызывает поляризации тканей, легко дозируется и вызывает четкое, но не болезненное ощущение, дает наименьший разброс показателей при повторных исследованиях. Электровозбудимость интактных зубов со сформированными корнями находится в пределах 2–6 мкА [25, 26].

Проведено проспективное исследование, направленное на оценку влияния минерализующих компонентов в составе средств гигиены на электрическую проводимость твердых тканей, косвенно оцениваемую с помощью динамики электрического отклика пульпы зубов при электроодонтометрии [27].

Цель исследования: клиническое изучение колебаний электропроводности эмали с помощью электроодон-

тометра для оценки минерализующей эффективности фторсодержащих зубных паст, используемых школьниками различных возрастов в качестве ежедневного средства индивидуальной гигиены.

Материалы и методы исследования

Оценка возбудимости пульпы верхних центральных зубов проводилась одним и тем же лицом при первичном осмотре и в периоде исследования через 2 недели, 1 месяц. Полученная информация регистрировалась в специально разработанных клинических картах.

В исследовании принимали участие 120 детей в возрасте от 6 до 15 лет. Были созданы три группы в зависимости от используемого средства гигиены — профилактической зубной пасты с различным содержанием фтора. Дети чистили зубы в домашних условиях дважды в день. Перед началом исследования, дети и их родители получили информацию о правилах чистки зубов, о составе средств индивидуальной гигиены и противокариозных свойствах фтористых добавок.

1 группа — 6–7 лет — 23 ребенка. Использовали зубную пасту с содержанием фтора 500 ppm.

2 группа — 8–12 лет — 24 ребенка. Использовали зубную пасту с содержанием фтора 1000 ppm.

3 группа — 13–15 лет — 25 чел. Использовали зубную пасту с содержанием фтора 1450 ppm.

Каждой основной группе соответствовала (по возрасту) контрольная группа (48 человек), которым (и их родителям) была предоставлена информацию о правилах чистки зубов, о составе средств индивидуальной гигиены и влиянии на твердые ткани фтористых добавок, но выбор зубной пасты для чистки детей проводился родителями самостоятельно.

Родители участников исследования подписали информированное согласие.

В исследовании использовался метод обследования зубов, основанный на определении порогового возбуждения тактильных рецепторов пульпы зуба при прохождении через нее электрического тока. В исследовании применялся электродиагностический ПульпЭст (Геософт-дент, Россия). Диапазон «диагностических» токов — от 0 до 80 мкА (шаг 1 мкА). Для точного проведения электрического теста помещали ватный валик в преддверие для изоляции, зуб высушивали марлевым тампоном. Активный электрод помещали на середину режущего края. Обследовали следующие зубы: верхние центральные резцы (1.1 и 2.1). В установленные моменты зубы по отдельности подвергались ЭОД тестированию на первичный отклик пульпы при прикосновении к режущему краю датчика, и пациент подтверждал, первичное ощущение на воздействие электрического тока.

Критерии включения:
- Отсутствие кариеса и реставраций
- Отсутствие в анамнезе травмы зубов
- Отсутствие ортодонтического лечения (как несъемных, так и съемных аппаратов)
- Клинически нормальный ответ на электроодонтометрию при первичном осмотре
- Отсутствие чувствительности на перкуссию
- Отсутствие подвижности и нормальный пародонтальный статус

Критерии исключения:
- Общесоматические заболевания: сердечно-сосудистые
- Осмотры и определение электропроводимости твердых тканей зубов проводилось в начале исследования перед началом использования зубных паст и каждые последующие две недели, в течение 30 дней.

Статистический анализ

Данные были статистически проанализированы с использованием SPSS 20, Проведен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), с непараметрический тест McNemar для зависимых переменных, результаты сравнивались с учетом уровня значимости 5 %.

Результаты исследования и обсуждение

В таблице 1 представлены результаты определения динамики электропроводимости эмали при использовании зубных паст с различным содержанием фторида в них.

Таблица 1.

Динамика электропроводимости в зависимости от концентрации фтора в используемых зубных пастах

Распределение по группам (основная/ контрольная)	Период обследования ($p \leq 0,05$)		
	В начале	Через 2 недели	Через 4 недели
1 группа	2,88 ± 0,02	2,37 ± 0,01	2,13 ± 0,02
1 контрольная	2,80 ± 0,03	2,80 ± 0,03	2,60 ± 0,04
2 группа	4,00 ± 0,05	3,60 ± 0,03	3,16 ± 0,04
2 контрольная	3,80 ± 0,02	3,60 ± 0,03	3,60 ± 0,02
3 группа	4,10 ± 0,03	3,67 ± 0,02	3,48 ± 0,03
3 контрольная	3,36 ± 0,04	3,31 ± 0,03	3,30 ± 0,03

Из таблицы 1 видно, что в 1 группе происходит постепенное снижение электропроводимости эмали

с 2,88 ± 0,02 мкА до 2,13 ± 0,02 мкА, то есть за счет образования защитной пленки на поверхности зуба. Увеличение минерализации эмали приводит к более раннему отклику пульпы при тестировании электровозбудимости, на ток меньшей силы, электропроводность ткани уменьшается. Тогда как в 1 контрольной группе происходить очень низкое снижение показателя, и только на 4 неделе с 2,80 ± 0,03 мкА до 2,60 ± 0,04 мкА.

Во 2 группе электропроводимость вначале составляла 4,00 ± 0,05 мкА, против 3,80 ± 0,02 мкА, во 2 контрольной, что через 4 недели привело к 3,16 ± 0,04 мкА во 2 группе и 3,60 ± 0,02 мкА во 2 контрольной группе.

В 3 группе наблюдалось снижение с 4,10 ± 0,03 мкА до 3,48 ± 0,03 мкА, против 3,36 ± 0,04мкА до 3,30 ± 0,03мкА в 3 контрольной группе.

Полученные, статистически значимые данные, позволили установить, что снижение электропроводимости твердых тканей происходит за счет образования защитной пленки CaF_2 на поверхности эмали зубов. Сопоставление групп, использовавших фторсодержащие зубные пасты и контрольных групп демонстрирует, что электропроводимость в группах испытания понижалась, а в контрольных оставалась без существенных изменений на протяжении всего периода или менялась незначительно (табл. 1).

Изменение электрического отклика, связанное с уменьшением электропроводимости эмали, из-за наличия защитной пленки CaF_2 на поверхности эмали [6, 7] после применения фторсодержащих средств гигиены, позволило установить, что противокариесная эффективность повышалась в результате использования фторсодержащих средства индивидуальной гигиены. В таблице 2 представлены данные изменения противокариесной эффективности, полученных по динамике электропроводимости твердых тканей зубов в разных группах.

Таблица 2.

Определение противокариесной эффективности по результатам динамики электропроводимости эмали

Распределение по группам (основная/ контрольная)	Противокариесная эффективность (%)	
	Через 2 недели	Через 4 недели
1 группа	17,71 ± 0,32	26,04 ± 0,15
1 контрольная	0,00	7,14 ± 0,44
2 группа	10,00 ± 0,11	21,00 ± 0,21
2 контрольная	5,26 ± 0,08	5,26 ± 0,08
3 группа	10,49 ± 0,09	15,12 ± 0,07
3 контрольная	1,49 ± 0,02	1,78 ± 0,01

Противокариесная эффективность увеличилась с 17,71 ± 0,32 % до 26,04 ± 0,15 % в первой группе против от 0,00 % до 7,14 ± 0,44 % в первой контрольной группе.

Во второй группе показатель противокариесной эффективности увеличился с 10,00 ± 0,11 % до 21,00 ± 0,21 %, и во 2 контрольной группе составил 5,26 ± 0,08 % и осталась неизменной до конца эксперимента.

В третье группе противокариесная эффективность увеличилась с 10,49 ± 0,09 % до 15,12 ± 0,07 % против 3 контрольной группы с 1,49 ± 0,02 % до 1,78 ± 0,01 %.

Таким образом, мы видим, что при использовании фторсодержащих зубных паст наблюдался рост противокариесной эффективности который подтверждался снижением показателей электропроводимости. Можно предположить, что наибольшая противокариесная эффективность в образовании защитного поверхностного слоя CaF_2 происходит в 1 группе и к концу 4 неделя составляет 26,04 ± 0,15 %, тогда как в 1 контрольной группе всего 7,14 ± 0,44 %. Это обусловлено тем, что наиболее эффективно протекают процессы минерализации в наиболее молодой возрастной группе, что и способствует образованию защитного минерального поверхностного слоя.

Заключение

В результате исследования было установлено, что в группе, использовавшей в течении одного месяца в качестве средства ежедневной гигиены зубную пасту, содержащую 500 ppm фтора, произошло увеличение противокариесной эффективности в 1,47 раза. В первой контрольной группе произошло незначительное увеличение противокариесной эффективности только к концу срока исследования и составил только 7,14 ± 0,44 %. Во второй группе, использовавшей зубную пасту с содержанием фтора 1000 ppm наблюдался рост противокариесной эффективности в 2,1 раза, тогда как во 2 контрольной группе она составила 5,26 ± 0,08 %, а прирост составил 0.

В третьей группе, использовавшей зубную пасту с содержанием фтора в 1450 ppm наблюдалось увеличение противокариесной эффективности в 1,44 раза, что очевидно связано со снижение скорости процессов минерализации в возрастной группе 13–15 лет по сравнению с группой 12-тилетних детей.

Данная работа показала важность использования фторсодержащих зубных паст, как средств местной профилактики кариеса зубов. Зубные пасты и количество содержащегося в них фторида должно соответствовать возрасту детей и интенсивности течения процессов ми-

нерализации протекающих в твердых тканях зубов. Минерализация твердых тканей ведет к увеличению электропроводимости твердых тканей.

Выявленная динамика электропроводимости позволяет использовать данный тест для мониторинга эффективности проводимой минерализующей терапии у детей в возрасте от 6 до 15 лет.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bisla I. Role of fluoride in dental caries re-mineralization: a review //Int.J. of Adv. Res. 8 (Aug). — P. 1359–1371 (ISSN 2320-5407) DOI URL: http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/11623
2. Yassin S.M., Tikare S., AlKahtani Z.M., AlFaifi F.J., AlFaifi W.S., AlFaifi E., Omair A., Ravi K.S. Caries preventive practices and dental caries among boys aged 6-15 in Saudi Arabia. //Eur J Paediatr Dent., 2020. — Jun. — №21(2). — P.97–102. https://doi.org/10.23804/ejpd.2020.21.02.02. PMID: 32567939.
3. Espinosa H.D., Soler-Crespo R. Materials science: Lessons from tooth enamel. //Nature, 2017. — Mar. — №1; 543(7643). — P.42–43. https://doi.org/10.1038/543042a. PMID: 28252073.
4. Dental Enamel Formation to Destruction / Eds. Robinson C., Kirkham J., Shore R. // CRC Press 1995. ISBN 0 -8493-4589-8. https://www.academia.edu/2442419/Composition_of_Dental_Enamel
5. Luo N., Lu B.Q., Deng Y.W., Zeng H., Zhang Y., Zhan J.Y., Xu X.C., Cao G.Z., Wen J., Zhang Z., Feng X.P., Jiang X., Chen F., Chen X. The glycerol stabilized calcium phosphate cluster for rapid remineralization of tooth enamel by a water-triggered transformation. //Nat Commun., 2025. — Jan. — №2;16(1). — P.58. https://doi.org/10.1038/s41467-024-54785-y.
6. Macey R., Walsh T., Riley P., Glenny A.M., Worthington H.V., Clarkson J.E., Ricketts D. Electrical conductance for the detection of dental caries. // Cochrane Database Syst Rev., 2021. — Mar. — №16;3(3). — CD014547. https://doi.org/10.1002/14651858.CD014547.
7. Reyes-Gasga J., García G.R., Alvarez-Fregoso O. et al. Conductivity in human tooth enamel. // Journal of Materials Science, 1999. — №34. — P.2183–2188. https://doi.org/10.1023/A:1004540617013
8. Леонтьев В.К., Цимбалистов А.В., Борозенцева В.А. с соавт. Электропроводимость эмали интактных зубов и краевая проницаемость пломб при лечении кариеса. // Научные ведомости. Серия: Медицина. Фармация, 2019. — Т. 42. — №3. — С.342–348.
9. Леонтьев В.К., Иванова Г.Г., Буянкина Р.Г. Электрометрическая диагностика краевой проницаемости пломб и вторичного кариеса. // Стоматология, 1987. — №3. — С. 4–5.
10. Леонтьев В.К., Иванова Г.Г., Жорова Т.Н. Электрометрическая диагностика поражений твердых тканей зубов. // Стоматология, 1990. — №5. — С. 19–24.
11. Михейкина Н.И., Горбунова И.Л. Электропроводность зубной эмали лиц с различной предрасположенностью к реализации кариеса как критерий оценки особенностей её морфологии и текстуры // Фундаментальные исследования, 2015. — № 1-1. — С. 110–114. https://elibrary.ru/download/elibrary_23033691_13585336.pdf
12. Середин П.В., Голощапов Д.Л., Леньшин А.С., Аль Зубайди А.А. Исследования процессов деминерализации твердых тканей зуба в результате развития кариеса эмали. // Биотехносфера, 2014. — № 4(34). — С. 26–31.
13. Митропанова М.Н., Павловская О.А., Знейбат М.С., Синицына Н.С. Влияние буферной системы на реминерализацию твердых тканей зуба. // Проблемы стоматологии, 2013. — № 2. — С. 69–75.
14. Улитовский С.Б., Шевцов А.В. Кариес в ортодонтии и основные проблемы его профилактики. // Сборник материалов III-го Научно-практического Международного конгресса «Актуальные проблемы стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» г. Ташкент, 2019. — С. 22–23.
15. Улитовский С.Б., Калинина О.В., Панкратьева Л.И. Оценка эффективности применения зубной пасты на основе эфирного масла кедра в профилактике истинного патологического галитоза // Ученые записки СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, 2017. — Т. 24. — No 4. — С. 64–67.
16. Baik A., Alamoudi N., El-Housseiny A., Altuwirqi A. Fluoride Varnishes for Preventing Occlusal Dental Caries. // A Review. Dent. J., 2021. — №9. — P.64. https://doi.org/10.3390/dj9060064
17. Melinda B., Clark M.D., Rebecca L., Slayton D.D.S. et al. Section on oral health. //Pediatrics, 2014. — №134 (3). — P.626–633. https://doi.org/10.1542/peds.2014-1699.
18. Zameer M., Birajdar S.B., Peeran S.W., et al. Nanosilver fluoride as a caries arresting agent. //A narrative review. Contemp. Pediatr. Dent., 2021. — №2(1). — P.1–13. https://doi.org/10.51463/cpd.2021.47
19. Al Harbi T.A., et al. «Effectiveness of Topical Fluoride on Dental Caries: A Literature Review». // EC Microbiology, 2020. — №01. — P.09 https://www.academia.edu/118142413
20. Imtiaz T., Gurunathan D., Saikiran K.V. Determination of the Ideal Tooth Surface and Pain Threshold to Improve the Efficacy of an Electric Pulp Tester in the Diagnosis of Pulp Sensitivity and Vitality in Premolar and Molar Teeth: A Cross-Sectional Study. // Cureus., 2023. — Dec. — №18;15(12). — e50754. https://doi.org/10.7759/cureus.50754.
21. Saikiran K.V., Gurunathan D., Gayathri E., Nuvvula S. Identification of the Ideal Reference Site and Pain Threshold Values for the Placement of Electric Pulp Testers in Permanent Upper and Lower Anterior Teeth: A Cross-Sectional Study. //Cureus., 2024. — Apr. — 12;16(4). — e58156. https://doi.org/10.7759/cureus.58156.
22. Nangia D., Duggal I., Logani A., Sharma S., Duggal R. Reliability of electric pulp test and thermal pulp test for assessing pulpal response in patients undergoing orthodontic treatment — A systematic review. // Int Orthod., 2025. — Mar. — №23(1). — P.100952. https://doi.org/10.1016/j.ortho.2024.100952.
23. Sui H., Lv Y., Xiao M. et al. Relationship between the difference in electric pulp test values and the diagnostic type of pulpitis. // BMC Oral Health, 2021. — №21. — P.339. https://doi.org/10.1186/s12903-021-01696-9.
24. Макеева И.М., Волков А.Г., Прикулс В.Ф. с соавт. Эффективность электроодонтодиагностики с помощью различных видов тока. // Стоматология, 2018. — Т. 97. — № 6. — С. 34–37. https://doi.org/10.17116/stomat20189706134.

25. Ehrmann E.H. Pulp testers and pulp testing with particular reference to the use of dry ice. // Australian Dental Journal, 1977. — №22(4). — P.272–279. https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.1977.tb04511.x.
26. Chambers I.G. The role and methods of pulp testing in oral diagnosis: a review. // International Endodontic Journal, 1982. — №15(1). — P.1–15. https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1982.tb01331.x.
27. Vemisetty H., Vanapatla A., Ravichandra P.V., Reddy S.J., Punna R., Chandragiri S. Evaluation of threshold response and appropriate electrode placement site for electric pulp testing in fluorosed anterior teeth: An in vivo study. // Dent Res J (Isfahan)., 2016. — May-Jun. — №13(3). — 245–249. https://doi.org/10.4103/1735-3327.182184.

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.33

К ВОПРОСАМ ПРОФИЛАКТИКИ РИСКА РАЗВИТИЯ ЭМБОЛИИ У ПАЦИЕНТОВ С ФЕНОМЕНОМ NO-REFLOW ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЧРЕСКОЖНОГО КОРОНАРНОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА

SOME QUESTIONS OF PREVENTION OF THE RISK OF EMBOLISM DEVELOPMENT IN PATIENTS WITH THE NO-REFLOW PHENOMENON DURING PERCUTANEOUS CORONARY INTERVENTION

G. Sazanov
A. Aydemirov
O. Sapelnikov

Summary. *Relevance*: One of the most important medical and social problems are the no-reflow and slow-reflow phenomena, due to the high mortality rates and loss of working capacity in patients with acute coronary syndrome with ST segment elevation (ACSST).
Of course, the risk of developing the phenomenon of no-reflow or slow-reflow is present at any stage of percutaneous coronary intervention, but the highest frequency of its occurrence is due to inflation of the balloon catheter during predilatation or stent implantation.
A number of authors express the opinion that direct stenting of the ISCA without predilatation significantly reduces the risk of distal embolism, which may be the method of choice for revascularization in patients with STEMI in order to prevent embolization of the microcirculatory bed.
Purpose of the study: This work is devoted to the analysis of PCI outcomes in patients with acute coronary syndrome with ST segment elevation and with TIMI 0 blood flow in the infarct-associated coronary artery, depending on the strategy of restoring antegrade blood flow (balloon pre-dilation or augmentation of the infarct-associated artery).
Materials and methods: The study included patients with STE-ACS and TIMI 0 blood flow. Depending on the PCI strategy, the patients were divided into 2 groups: the first included patients who underwent balloon angioplasty to restore antegrade blood flow, and the second included patients who underwent ISCA bougienage.
Results: The following parameters were analyzed: duration of surgery, incidence of complications of PCI, ejection fraction (EF) of the left ventricle, degree of chronic heart failure according to EF and classification of Vasilenko V.Kh. and Strazhesko N.D., and statistical processing of the obtained data was carried out.
Conclusion: The study confirmed the hypothesis of a reduction in the risk of no-reflow and slow-reflow phenomena and the associated overall mortality rates in patients with TIMI 0 when performing bougienage of the infarct-related artery.

Key words: no-reflow phenomenon, infarct-associated coronary artery, acute coronary syndrome with ST segment elevation, percutaneous coronary intervention, prevention, embolism.

Сазанов Григорий Вячеславович
врач по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГБУЗ СК «Ставропольская краевая клиническая больница»
mc_sagr@mail.ru
Айдемиров Артур Насирович
доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; ГБУЗ СК «Ставропольская краевая клиническая больница»
aaidemirov@mail.ru
Сапельников Олег Валерьевич
д.м.н., г.н.с., лаборатория хирургических и рентгенхирургических методов лечения нарушений ритма сердца отдела сердечно-сосудистой хирургии, ФГБУ «НМИЦК им. академика Е.И. Чазова» Минздрава России, г. Москва
sapelnikovov@mail.ru

Аннотация. *Актуальность*: Одними из важнейших медико-социальной проблем, являются феномены no-reflow и slow-reflow, ввиду высоких показателей летальности и утраты трудоспособности у пациентов с острым коронарным синдромом с подъемом сегмента ST (ОКСпST).
Безусловно, риск развития феномен no-reflow или slow-reflow присутствует на любом этапе выполнения чрескожного коронарного вмешательства, но наибольшая частота его возникновения обусловлена инфляцией баллонного катетера при выполнении предилятации или имплантацией стента.
Ряд авторов высказывают мнение, что прямое стентирование ИСКА без предилатации существенно снижают риск дистальной эмболии, что может являться методом выбора реваскуляризации у больных с ОКСпST с целью профилактики эмболизации микроциркуляторного русла.
Цель исследования: Данная работа посвящена анализу исходов ЧКВ у пациентов с острым коронарным синдромом с подъемом сегмента ST и с кровотоком TIMI 0 в инфаркт-связанной коронарной артерии в зависимости от стратегии восстановления антеградного кровотока (баллонной предилатации или бужирования инфаркт связанной артерии).
Материалы и методы: в исследование были включены пациенты с ОКСпST и кровотоком TIMI 0. В зависимости от стратегии ЧКВ пациенты были распределены на 2 группы: в первую вошли пациенты, которым с целью восстановления антеградного кровотока выполнялась баллонная ангиопластика, а во вторую — пациенты, которым было выполнено бужирование ИСКА.
Результаты: были проанализированы такие показатели, как длительность операции, частота возникновения осложнений ЧКВ, фракция выброса (ФВ) левого желудочка, степень хронической сердечной недостаточности по ФВ

и классификации Василенко В.Х. и Стражеско Н.Д. и проведена статистическая обработка, полученных данных.
Заключение: в ходе исследования подтверждена гипотеза о снижении риска возникновения феноменов no-reflow и slow-reflow и связанных с ними показателей общей летальности у пациентов с TIMI 0 при выполнении бужирования инфаркт-связанной артерии.

Ключевые слова: феномен no-reflow, инфаркт-связанная коронарная артерия, острый коронарный синдром с подъемом сегмента ST, чрескожное коронарное вмешательство, профилактика, эмболия.

Введение

Высокие показатели летальности и утрата трудоспособности у пациентов с острым коронарным синдромом с подъемом сегмента ST (ОКСпST) обуславливают необходимость поиска наиболее эффективных и безопасных методов лечения. Одним из приоритетных методов восстановления кровотока является чрескожное коронарное вмешательство [1,9,16]. Недостатком такого метода лечения является достаточно часто встречающееся осложнение — феномен no/slow-reflow, который характеризуется нарушением перфузии сердечной мышцы в зоне его питания ИСКА, что при выполнении ЧКВ характеризуется отсутствием или замедлением кровотока от уровня по шкале TIMI от 0 до 2 [2,4,18].

Патогенез феномена no/slow-reflow, при чрескожном коронарном вмешательстве (ЧКВ) больным с ОКСпST, требует от особого изучения, что связано с его сложностью и мультифакторностью его запуска, это могут быть в том числе и дистальная эмболия инфаркт-связанной коронарной артерии (ИСКА) и ишемическое повреждения миокарда в зоне кровоснабжения ИСКА, а также реперфузионное поражение миокарда, и кроме того, увеличивает риски развития феномена генетическая предрасположенность к повреждению микроциркуляторного русла. [3, 6, 7, 8, 11, 12, 13,19]. Развитие феномена no или slow-reflow, вызывает апоптоз клеток сердечной мышцы, и, как следствие неблагоприятного исхода у пациентов [5,14,21].

Эффективным методом, сокращающим время и объем манипуляций и при этом достигающим цели успешной реваскуляризации, может быть прямое стентирование ИСКА. Считается, что прямое стентирование коронарной артерии без предилатации во время первичной реваскуляризации способствует уменьшению обструкции микровакулярного русла вследствие дистальной эмболии. Рандомизированные контролируемые исследования, сравнивающие две стратегии реваскуляризации, немногочисленны [20, 23, 25, 28]. Мета-анализ этих исследований, включавший 754 пациента, показал более высокую частоту снижения сегмента ST (69 % против 60 %; P = 0,05) и более низкую частоту внутрибольничной сердечно-сосудистой смерти (0,3 % против 2,1 %; P = 0,02) в группе прямого стентирования, чем в группе БАП [15,17,24]. В этой связи представляется правильным проводить дальнейшие рандомизированные исследования с более крупной выборкой пациентов для выявления влияния прямого стентирования на риск развития феномена slow/no-reflow.

Стратегия прямого стентирования изучалась различными авторами, и некоторые результаты отражают снижение риском развития прогнозируемых осложнений [10,26]. Другие исследователи, например, Kim соавт. в проспективном рандомизированном исследовании не выявили значительного влияния на риск развития дистальной эмболии тактику прямого стентирования без предварительной дилатации [22,27].

Таким образом, анализ литературы демонстрирует актуальность данной темы и необходимость ее дальнейшего изучения.

Цель исследования

Проанализировать результаты проведенного ЧКВ у пациентов с острым коронарным синдромом с подъемом сегмента ST и с кровотоком TIMI 0 в инфаркт-связанной коронарной артерии в зависимости от выбранной стратегии восстановления антеградного кровотока (баллонной предилатации или бужирования инфаркт связанной артерии) для профилактики риска развития эмболии.

Материалы и методы

Выполнен анализ результатов лечения 209 пациентов с ОКСпST и кровотоком TIMI 0. В зависимости от стратегии ЧКВ пациенты были распределены на 2 группы: в первую вошли 147 пациентов, которым с целью восстановления антеградного кровотока выполнялась баллонная ангиопластика, а во вторую — 62 пациента, которым выполнено бужирование ИСКА. Все пациенты получали стационарное лечение в условиях Регионального сосудистого центра Ставропольской краевой клинической больницы в 2019 году.

Среди пациентов с ОКСпST, преобладали мужчины (81,3 %) среднего и пожилого возрастов. Средний возраст пациентов составил 60,45±10,02 года (95 % ДИ 59,08–61,82).

В зависимости от локализации поражения в коронарной артерии установлено, что наиболее часто инфаркт-связанной коронарной артерией (ИСКА) являлись правая (88 (42,10 %) пациентов) и передней межжелудочковых артерия (92 (44,00 %) пациента). В системе огибающей артерии ОКСпST верифицирован реже — у 29 (13,90 %) пациентов.

Тромболитическая терапия (ТЛТ) выполнена 71 (34,00 %) пациенту, в то время как без проведения ТЛТ на догоспитальном этапе поступили в клинику 138 (66,00 %) пациентов.

В ходе исследования выполнен анализ следующих показателей: время от дебюта заболевания до госпитализации в стационар с возможностью выполнения ЧКВ, длина поражения ИСКА, количество имплантированных стентов, длительность хирургического вмешательства, а также основных лабораторных показателей.

Критериями включения являлись: ОКСпST, возникший не более чем 48 часов от дебюта заболевания до госпитализации в ЧКВ-стационар; возраст от 18 до 80 лет; успешное стентирование ИСКА; TIMI0 при выполнении коронароангиографии.

Критериями исключения из исследования были следующие: ОКС без подъёма сегмента ST; отказ пациента от медицинского вмешательства; невозможность выполнения стентирования ИСКА; применение катетерной тромбаспирации и селективной фармакологической коррекции феноменов no-reflow и slow-reflow, предшествующих коронарному стентированию.

В зависимости от методики восстановления антеградного кровотока в ИСКА пациенты были распределены на 2 подгруппы: в первую вошли 147 пациентов, которым выполнялась баллонная предилатация, а во вторую — 62 пациента, которым, для восстановления кровотока в ИСКА, выполнялось бужирование коронарным баллоном без его инфляции.

Пациенты в исследуемых подгруппах были сопоставимы по степени тяжести, локализации и характеру поражения коронарных артерий (табл. 1, 2).

Чрезкожные коронарные вмешательства были выполнены на ангиографическом комплексе Azurion 7 (Philips, Нидерланды). Оперативное вмешательство проводилось согласно утвержденным стандартам оказания помощи. Данные, полученные при коронарографии про-

Таблица 1.

Характеристика пациентов изучаемых групп. Категориальные переменные

Показатель	Категории	группа 1	группа 2	p
Пол	женский	32 (21,8)	7 (11,3)	0,076
	мужской	115 (78,2)	55 (88,7)	
Возрастная группа	молодой	6 (4,1)	3 (4,8)	0,644
	средний	57 (38,8)	28 (45,2)	
	пожилой	67 (45,6)	27 (43,5)	
	долгожитель	17 (11,6)	4 (6,5)	
ИСКА	ОА	19 (12,9)	10 (16,1)	0,815
	ПКА	62 (42,2)	26 (41,9)	
	ПМЖА	66 (44,9)	26 (41,9)	
ТЛТ	выполнялась	52 (35,4)	19 (30,6)	0,510
	не выполнялось	95 (64,6)	43 (69,4)	

Таблица 2.

Характеристика пациентов изучаемых групп. Количественные переменные

Категории	Время от дебюта ОКС (ч.)			p
	Me	Q_1–Q_3	n	
группа 1	4,00	2,00–7,00	147	0,341
группа 2	3,00	2,00–5,75	62	
	Длина поражения (см)			
	Me	Q_1–Q_3	n	
группа 1	2,00	1,75–3,00	147	0,106
группа 2	2,00	1,50–2,50	62	
	Возраст (лет)			
	M ± SD	95 % ДИ	n	
группа 1	60,82 ± 10,17	59,17–62,48	147	0,408
группа 2	59,56 ± 9,69	57,10–62,02	62	
	Количество имплантированных стентов (шт.)			
	Me	Q_1–Q_3	n	
группа 1	2,00	1,00–2,00	147	0,057
группа 2	1,00	1,00–2,00	62	
группа 2	5,46	4,79–7,05	62	

анализированы с использованием программного обеспечения ангиографического комплекса. Подавляющее большинство ЧКВ выполнено трансрадиальным доступом (99,34 %). В редких случаях был использован бедренный доступ (1,66 %).

Статистический анализ

Статистический анализ проводился с использованием отечественного программного комплекса StatTechv. 3.1.6 (разработчик — ООО «Статтех», Россия). Сравнение двух групп по количественным переменным выполнялось с помощью t-критерия Стьюдента или U-критерия Манна-Уитни (в зависимости от распределения исходных данных). Сравнение категориальных переменных проведено с помощью, критерия хи-квадрат Пирсона (и его модификаций). Оценка функции выживаемости пациентов и анализ выживаемости пациентов проводился по методам Каплана-Мейера и методу регрессии Кокса, соответственно.

Результаты

При оценке результатов лечения пациентов с ОКСпST были проанализированы такие показатели, как длительность операции, частота возникновения осложнений ЧКВ, фракция выброса (ФВ) левого желудочка, степень хронической сердечной недостаточности по ФВ и классификации Василенко В.Х. и Стражеско Н.Д. (табл. 3).

Таблица 3.

Анализ длительности операции в зависимости от выполнения баллонной предилатации/бужирования

Категории	Длительность операции (мин.)			p
	Me	Q_1–Q_3	n	
группа 1	40,00	35,00–55,00	147	0,190
группа 2	40,00	30,00–50,00	62	

Медиана длительности операции в обеих изучаемых группах составила 40 минут. При выполнении статистического анализа длительности ЧКВ в зависимости от выполнения баллонной предилатации или бужирования, нам не удалось выявить значимых различий (p=0,190, используемый метод: U–критерий Манна–Уитни).

Анализ степени хронической сердечной недостаточности по классификации Н.Д. Стражеско и В.Х. Василенко в зависимости от методики восстановления атеградного кровотока установлено, что I стадия ХСН верифицирована у 7(4,80 %) первой и 9(14,50 %) пациентов второй группы, IIa степень у 27(18,40 %) и 16(25,80 %)пациентов, соответственно, IIb — у 91(61,90 %) и 34(54,80 %), III — у 2(1,4 %) пациентов, которым выполнялась баллонная предилатация, а у пациентов группы бужирования ИСКА перед имплантацией стента III степени ХСН не было установлено.

Исходя из полученных данных при сравнении хронической сердечной недостаточности по Н.Д. Стражеско и В.Х. Василенко в изучаемых подгруппах, нами были установлены статистически значимые различия (p=0,028, используемый метод: Хи-квадрат Пирсона)

Анализ фракции выброса в изучаемых подгруппах показал, что в зависимости от выполнения баллонной предилатации или бужирования ИСКА, были установлены статистически значимые различия (p=0,028, используемый метод: U–критерий Манна–Уитни).

Осложнения ЧКВ в первой группе пациентов верифицированы у 58 (39,5 %) пациентов, а во второй — у 6 (9,7 %) пациентов. Приведенные различия были статистически значимы (p<0,001, используемый метод: Хи-квадрат Пирсона). Шансы неосложненного течения в группе 2 были выше в 6,082 раза, по сравнению с группой 1, различия шансов были статистически значимыми (95 % ДИ: 2,462 — 15,029).

Структура осложнений представлена в таблице 4 (табл. 4).

Таблица 4.

Анализ вида осложнения в зависимости от выполнения баллонной предилатации/бужирования

Показатель	Категории	группа		p
		группа 1	группа 2	
Вид осложнения	No-reflow	15 (10,2)	1 (1,6)	< 0,001*
	Slow-reflow	43 (29,3)	4 (6,5)	
	не выявлено	89 (60,5)	56 (90,3)	
	Тромбоз стента	0 (0,0)	1 (1,6)	

* — различия показателей статистически значимы (p < 0,05)

Согласно полученным данным при анализе исхода лечения в изучаемых группах, нами были выявлены статистически значимые различия (p=0,039, используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

Далее нами был выполнен анализ исхода лечения в зависимости стратегии восстановления антеградного кровотока перед имплантацией коронарного стента. Летальный исход в первой группе верифицирован у 22(15,00 %) пациентов, а у пациентов второй подгруппы у 3(4,8 %) пациентов.

В соответствии с представленными выше данными при сопоставлении исхода лечения в изучаемых груп-

пах, нами были установлены статистически значимые различия (p=0,039, используемый метод: Хи-квадрат Пирсона).

Анализ общей выживаемости у пациентов с ОКСпST в зависимости от методики восстановления антеградного кровотока в ИСКА установил статистически значимые различия общей выживаемости (выживаемость пациентов во второй группе была выше, чем в первой), оцененные с помощью теста отношения правдоподобия, были статистически значимы (p = 0,027).

При оценке взаимосвязи общей выживаемости с изучаемыми факторами с помощью метода регрессии Кокса получена модель пропорциональных рисков, согласно которой статистически значимого влияния на общую выживаемость ни одна из изучаемых методик не оказала (p=0,056).

Обсуждение

В ходе исследования установлено, что выполнение прямого стентирования у пациентов с ОКСпST характеризовалось статистически значимо более низким риском возникновения феноменов slow- и no-reflow (p=0,001, Хи-квадрат Пирсона) и, как следствие, лучшими функциональными исходами лечения пациентов (степень хронической сердечной недостаточности по Н.Д. Стражеско, В.Х. Василенко и фракции выброса левого желудочка), которые также были статистически (p=0,001, Хи-квадрат Пирсона).

Заключение

В ходе исследования было продемонстрировано, что риск возникновения феноменов no-reflow и slow-reflow у пациентов с кровотоком TIMI 0 инфаркт-связанной коронарной артерии статистически значимо ниже (p=0,001, Хи-квадрат Пирсона) в группе пациентов, которым для восстановления антеградного кровотока выполнено бужирование инфаркт связанной коронарной артерии, а функциональные исходы лечения пациентов (степень хронической сердечной недостаточности, общая выживаемость) были также лучше у пациентов, которым было выполнено бужирование ИСКА (p=0,001, Хи-квадрат Пирсона).

Таким образом, в ходе исследования подтверждена гипотеза о снижении риска возникновения феноменов no-reflow и slow-reflow и связанных с ними показателей 3-ти общей летальности у пациентов с TIMI 0 при выполнении бужирования инфаркт-связанной артерии. Также, эффективность применения предложенной стратегии ЧКВ, подтверждена улучшением функциональных исходов у выживших пациентов с ОКСпST.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алекян Б.Г. Рентгенэндоваскулярная хирургия. Национальное руководство. Т. 2.М.: Литтерра. 2017;399–426.
2. Сазанов Г.В., Белоконь О.С. Влияние предилатации на частоту возникновения феномена no/slow-reflow у пациентов с острым коронарным синдромом с подъёмом сегмента ST. Казанский медицинский журнал. 2020;101(2):284–288. https://doi.org/10.17816/KMJ2020-284
3. Heusch G, Skyschally A, Kleinbongard P. Coronary microembolization and microvascular dysfunction. International Journal of Cardiology. 2018;258(5):17–23.PMID: 29429637.
4. Montone RA, Camill M, Buono MG Del, et al. Update sudiagnosi, fisiopatologia e strategieterapeutiche. G. Ital. Cardiol. 2020;21:4–14.PMID: 32469339. https://doi.org/10.1714/3373.33487
5. Zhou H, He X, Zhuang S, et al. Clinical and procedural predictors of no-reflow in patients with acute myocardial infarction after primary percutaneous coronary intervention. World Journal of Emergency Medicine. 2014;5(2):96–102.PMID: 25215156. PMCID: PMC4129879 https://doi.org/10.5847/wjem.j.is sn.1920-8642.2014.02.00310
6. Журавлев А.С., Азаров А.В., Семитко С.П., и др. Феномен no-reflow во время первичного чрескожного коронарного вмешательства у пациентов с острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST, обусловленным массивным коронарным тромбозом. Патогенез и предикторы no-reflow. Кардиология. 2021;61(2):99–105. https://doi.org/10.18087/cardio.2021.2.n1175 99-105
7. Yaméogo NV, Guenancia C, Porot G, et al. Predictors of angiographically visible distal embolization in STEMI. Herz. 2020;45(3):288–292.PMID: 29926119 https://doi.org/10.1007/s00059-018-4723-1
8. Журавлев А.С., Азаров А.В., Семитко С.П., и др. Феномен no-reflow во время первичного чрескожного коронарного вмешательства у пациентов с острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST, обусловленным массивным коронарным тромбозом. Патогенез и предикторы no-reflow. Кардиология. 2021;61(2):99–105. https://doi.org/10.18087/cardio.2021.2.n1175 99-105
9. Исхаков М.М., Тагиров Д.Р., Газизов Н.В. и др. Феномен «no-reflow»: клинические аспекты неудачи реперфузии. Казанский мед. ж. 2015;96(3):391–396. https://doi.org/10.17750/KMJ2015-391
10. Y Li Y, Palmer A, Lupu L, et.al. Inflammatory response to the ischaemia-reperfusion insult in the liver after major tissue trauma. Emerg. Surg. 2022;48(6):4431–4444. PMID: 35831749. PMCID: PMC9712415. https://doi.org/10.1007/s00068-022-02026-6
11. Wang J, Toan S, Zhou H. New insights into the role of mitochondria in cardiac microvascular ischemia/reperfusion injury. Angiogenesis. 2020; 23(3):299–314. PMID: 32246225 https://doi.org/10.1007/s10456-020-09720-2

12. Wu MY, Yiang GT, Liao WT, et al. Current mechanistic concepts in ischemia and reperfusion injury. Cell. Physiol. Biochem. 2018;46(4):1650–1667. PMID: 29694958 https://doi.org/10.1159/000489241
13. Yalcin Y, Biyik I, Akturk E, et al. Association between endothelial nitric oxide synthase gene polymorphism (glu298asp) and coronary no-reflow phenomenon in acute myocardial infarction. Advances in Hygiene & Experimental Medicine. — 2019. https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.525341
14. Niccoli G, Ibanez B, Thiele H, Thiele H, Crea F, Heusch G, et al. Optimized treatment of ST-elevation myocardial infarction. Circ. Res. 2019; 125: 245–258. https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.119.315344
15. Sabatier R. Could direct stenting reduce no-reflow in acute coronary syndromes? A randomized pilot study / R Sabatier, M Hamon, QM Zhao, et al.// Am. Heart J. — 2002. — V. 143. — P. 1027–1032. DOI: 10.1067/mhj.2002.122509
16. Ballarino MA. Multicenter randomized comparison of direct vs. conventional stenting: the DIRECTO trial / MA Ballarino, E Jr Moreyra, A Damonte, et al.// Catheter Cardiovasc. Interv. — 2003. — V. 58. — P. 434–440.
17. Gasior M. Comparison of outcomes of direct stenting versus stenting after balloon predilation in patients with acute myocardial infarction (DIRAMI) / M Gasior, M Gierlotka, A Lekston, et al.// Am. J. Cardiol. — 2007. — V. 100. — P. 798–805. https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2007.04.026
18. Ozdemir R. Comparison of direct stenting versus conventional stent implantation on blood flow in patients with ST-segment elevation myocardial infarction / R Ozdemir, AT Sezgin, I Barutcu, et al.// Angiology. — 2006. — V. 57. — P. 453–458. https://doi.org/10.1177/0003319706290620
19. Alak A. A meta-analysis of randomized controlled trials of conventional stenting versus direct stenting in patients with acute myocardial infarction / A Alak, P Lugomirski, N Aleksova, et al.// J. Invasive Cardiol. — 2015. — 27. — P. 405–409. PMID: 26121706.
20. Saad M. Impact of direct stenting on myocardial injury assessed by cardiac magnetic resonance imaging and prognosis in ST-elevation myocardial infarction / M Saad, T Stiermaier, G Fuernau, et al.// Int. J. Cardiol. — 2019. — V. 283. — P. 88–92. https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.11.141.
21. Kim BG. Effect of direct stenting on microvascular dysfunction during percutaneous coronary intervention in acute myocardial infarction: a randomized pilot study / BG Kim, SW Cho, J Seo, GS Kim, et al.// J. Int. Med. Res. — 2022. — V. 50(9):3000605221127888. https://doi.org/10.1177/03000605221127888
22. Mockel M. Comparison of direct stenting with conventional stent implantation in acute myocardial infarction / Mockel M, Vollert J, Lansky AJ, Witzenbichler B, et al. //. Am J Cardiol. 2011;108(12):1697–703. https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2011.07.040
23. Kalayci A. Outcomes of direct stenting in patients with ST-elevated myocardial infarction / A Kalayci, V Oduncu, CY Karabay, A Erkol, et al.// Herz. — 2018. — V. 43(5). — P. 447–454.
24. Сазанов Г.В., Шугушев З.Х., Белоконь О.С. и др. Бужирование инфаркт связанной коронарной артерии как метод снижения частоты встречаемости феномена no-reflow у пациентов с острым коронарным синдромом с подъемом сегмента ST. Инновационная медицина Кубани. 2023;(3):54–61. https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-3-54-61
25. Remkes WS. Direct drug-eluting stenting to reduce stent restenosis: a randomized comparison of direct stent implantation to conventional stenting with predilation or provisional stenting in elective PCI patients / WS Remkes, S Somi, V Roolvink, S Rasoul, et al.// JACC Cardiovasc Interv. 2014 Jul;7(7):751-8. https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.02.012.
26. He J. Comparison of direct stenting with conventional strategy on myocardial impairments in ST-segment elevation myocardial infarction: a cardiac magnetic resonance imaging study / J He, LC Kong, JT Zeng, BZ Shi, et al.// Cardiovasc. Imaging. — 2020. — V. 36(6). — P. 1167–1175. https://doi.org/10.1007/s10554-020-01812-w
27. Lorenzo A. Direct stenting versus predilatation in ST-elevation myocardial infarction / A Lorenzo, V Xavier, Q Hung, et al.// J. Interv. Cardiol. — 2015. — V. 28(2). — P. 119–131. https://doi.org/10.1111/joic.12190
28. Scarparo P. Very long-term clinical outcomes after direct stenting in patients presenting with ST-segment elevation myocardial infarction / P Scarparo, R Improta, J Wilschut, I Kardys, et al.// Cardiovasc. Revasc. Med. — 2022. — V. 41. — P.144–150. https://doi.org/10.1016/j.carrev.2022.01.014

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.35

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ КОМБИНАЦИИ ТАДАЛАФИЛА, ПЕНТОКСИФИЛЛИНА И ТИОКТОВОЙ КИСЛОТЫ В ТЕРАПИИ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ ЭРЕКТИЛЬНОЙ ДИСФУНКЦИИ У ПАЦИЕНТА С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 1-ГО ТИПА (КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ)

THE POSITIVE EFFECT OF A COMBINATION OF TADALAFIL, PENTOXIFYLLINE AND THIOCTIC ACID IN THE TREATMENT OF DIABETIC ERECTILE DYSFUNCTION IN A PATIENT WITH TYPE 1 DIABETES MELLITUS (CLINICAL CASE)

B. Sklyarov
B. Pavlov
P. Machalin
M. Ashtarkhanov
D. Gubanov

Summary. The article discusses the positive effect of a combination of tadalafil, pentoxifylline and thioctic acid in the treatment of diabetic erectile dysfunction in a patient with type 1 diabetes mellitus. Patients suffering from type 1 diabetes are at a significantly increased risk of erectile dysfunction. Therapeutic methods, including the use of phosphodiesterase-5 inhibitors, are often not effective enough for diabetics. Many patients do not get the expected effect, despite the variety of available treatment options. Therapy with erectile dysfunction in diabetics requires a comprehensive approach: normalization of sugar levels, transformation of habits and pharmacological intervention, which is a significant challenge for specialists. New combined treatments are becoming increasingly important due to the multifactorial nature of erectile dysfunction in diabetes mellitus. A promising direction is the use of alpha-lipoic acid (thioctic acid), which protects nerve cells, functions as an antioxidant and contributes to the normalization of the endothelium. In turn, pentoxifylline can effectively complement therapy due to its ability to improve the rheological properties of blood and dilate blood vessels, which is especially important in the vasculogenic form of erectile dysfunction. The need to influence various mechanisms of disease development makes the development of such integrated approaches a priority area of research.

Keywords: erectile dysfunction, diabetes mellitus, pentoxifylline, tadalafil, pentoxifylline.

Скляров Богдан Александрович
Врач-ординатор, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Российская Федерация, г. Москва
b.sklyarov@mail.ru
Павлов Богдан Владимирович
Врач-эндокринолог, ассистент, Институт медицины и здоровьесбережения им. Г.Р. Державина, Российская Федерация, г. Тамбов
DewolIS@yandex.ru
Мачалин Павел Александрович
Врач-уролог, Городская клиническая больница им. С.С. Юдина, г. Москвы
machalin.pavel@gmail.com
Аштарханов Мурад Русланович
Врач-ординатор, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Российская Федерация, г. Москва
ashtarkhanov_m@mail.ru
Губанов Дмитрий Сергеевич
старший преподаватель, ФГБОУ ВО Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина
dmitrij.gubanov@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрен положительный эффект комбинации тадалафила, пентоксифиллина и тиоктовой кислоты в терапии диабетической эректильной дисфункции у пациента с сахарным диабетом 1-го типа. Пациенты, страдающие сахарным диабетом 1 типа, подвержены значительно повышенному риску эректильной дисфункции. Терапевтические методы, включающие прием ингибиторов фосфодиэстеразы-5, часто оказываются недостаточно результативными для диабетиков. Многие пациенты не получают ожидаемого эффекта, несмотря на разнообразие доступных способов лечения. Терапия с эректильной дисфункцией у диабетиков требует всестороннего подхода: нормализации уровня сахара, трансформации привычек и фармакологического вмешательства, что представляет значительную сложность для специалистов. Новые комбинированные методы лечения становятся все более значимыми из-за многофакторной природы эректильной дисфункции при сахарном диабете. Перспективным направлением представляется использование альфа-липоевой (тиоктовой) кислоты, которая защищает нервные клетки, функционирует как антиоксидант и способствует нормализации работы эндотелия. В свою очередь, пентоксифиллин может эффективно дополнять терапию благодаря своей способности улучшать реологические свойства крови и расширять сосуды, что особенно важно при васкулогенной форме эректильной дисфункции. Необходимость

воздействия на различные механизмы развития заболевания делает разработку таких интегрированных подходов приоритетным направлением исследований.

Ключевые слова: эректильная дисфункция, сахарный диабет, пентоксифиллин, тадалафил, пентоксифиллин.

Введение

Современная андрология и сексопатология сталкиваются с важной проблемой — лечением эректильной дисфункции (ЭД). Особую сложность представляют случаи, когда ЭД развивается на фоне сахарного диабета (СД). В глобальном масштабе распространенность СД в последние годы достигла критических показателей. Возраст пациента, продолжительность диабета, а также сопутствующие состояния (ожирение, повышенное артериальное давление, недостаток андрогенов, нарушение липидного обмена) напрямую влияют на интенсивность проявления ЭД у мужчин с СД. Усугубляют ситуацию хронические осложнения диабета, среди которых особенно выделяется периферическая ангионейропатия, а также другие формы поражения сосудов и нервной системы [1].

Качество супружеских отношений и общее благополучие мужчин с СД существенно страдают при развитии ЭД. Исследования показали, что независимыми факторами, предсказывающими появление ЭД, являются периферическая полинейропатия и уровень гликированного гемоглобина. При повышении концентрации глюкозы натощак более 10 ммоль/л и HbA1c выше 8,1 % значительно увеличивается вероятность диабетических осложнений у пациентов с ЭД. Несмотря на важность контроля уровня сахара в крови для управления как СД, так и ЭД, некоторые исследователи утверждают, что существуют дополнительные механизмы развития ЭД у диабетиков [1].

Глобальная медицинская статистика показывает следующую тенденцию: к 2045 году количество людей, страдающих от нарушений углеводного обмена, может достичь 783 миллионов, что значительно превышает нынешние 537 миллионов взрослых пациентов возрастной категории 20–79 лет. Такие данные приводит IDF за 2021 год. Особую обеспокоенность вызывает первый тип этого метаболического расстройства, который диагностируется у 5–10 % пациентов. [2].

Сахарный диабет — состояние, характеризующееся повышенным уровнем глюкозы в крови. Название «сахарный диабет» имеет целая группа заболеваний. Согласно современной классификации Всемирной организации здравоохранения, выделяется несколько видов диабета. Большинство случаев приходится на сахарный диабет 1 и 2 типа [3]. Диабет наследуется. Это означает, что передалась наследственная склонность к диабету от одного или обоих родителей. Чаще всего так и бывает. Родители — лишь как бы передатчики, носители предрасположенности к диабету, но сами они не болеют. Правда, возможно, среди родственников у кого-то есть диабет [4].

Сахарный диабет 1 типа по своей структуре неоднороден. Существует несколько вариантов развития 1 типа:

- Аутоиммунный — классический 1 типа, когда имеются антитела к β-клеткам поджелудочной железы.
- LADA-диабет (латентный аутоиммунный диабет взрослых) — развивается чаще после 40 лет, характеризуется очень медленным процессом разрушения β-клеток поджелудочной железы.
- Идиопатический — проявляется симптомами и клиническими признаками классического 1 типа, при этом антитела к β-клеткам поджелудочной железы отсутствуют [5].

Основная цель контроля сахарного диабета — это поддержание оптимального уровня глюкозы крови. Натощак утром и вечером перед сном при измерении глюкометром уровень глюкозы крови должен быть 5,0–6,5 ммоль/л, через 2 часа после еды — 5,5–8,0 ммоль/л. Эти показатели считаются эталонными [6]. Современные стратегии иммунотерапии СД 1 можно разделить на антигеннезависимые и антиген-зависимые. Антигеннезависимые вмешательства включают: препараты, вызывающие иммуносупрессию, терапию на основе антител, позволяющую истощать поликлональные B- или T-клетки, стратегии на основе цитокинов и увеличение толерогенных дендритных клеток и количество поликлональных клеток T-Reg [7].

Эректильная дисфункция (ЭД) — неспособность достижения или поддержания эрекции, позволяющей осуществить коитус. Более чем у 67 % мужчин ухудшение качества сексуальной жизни происходит по причине нарушений эрекции. Распространенность заболевания коррелирует с возрастом. ЭД выявляется у 40 % мужчин в возрасте 40–50 лет, у 57 % — в возрасте 50–60 лет и у 70 % — старше 60 лет. Ожидается, что к 2025 г. нарушениями эрекции будут страдать более 300 млн мужчин. При определении тактики лечения следует учитывать, что 31,5–44 % мужского населения остаются сексуально

активными до 80 лет. На сегодняшний день препаратами первой линии терапии ЭД являются ингибиторы фосфодиэстеразы 5-го типа (ФДЭ-5), которые применяются для терапии нарушений эрекции с 1998 г. [8]. Тадалафил является обратимым селективным ингибитором специфической фосфодиэстеразы 5 типа (ФДЭ-5) циклического гуанозин монофосфата (цГМФ). Когда сексуальное возбуждение вызывает местное высвобождение оксида азота, ингибирование ФДЭ-5 тадалафилом ведет к повышению концентрации цГМФ в пещеристом теле полового члена. Следствием этого является расслабление гладких мышц артерий и приток крови к тканям полового члена, что и вызывает эрекцию. Тадалафил не оказывает эффекта в отсутствии сексуального возбуждения [9]. Кроме того, в пилотном исследовании тадалафил повышал базальную секрецию инсулина у мужчин с ЭД. В другом исследовании тадалафил улучшал периферическую микроциркуляцию и усвоение глюкозы у пациентов [10]. Пентоксифиллин является производным ксантина. Улучшает микроциркуляцию и реологические свойства крови. Механизм действия связан с угнетением фосфодиэстеразы и повышением содержания циклического 3,5-аденозинмонофосфата (3,5-АМФ) в тромбоцитах и аденозинтрифосфата (АТФ)[11]. Противовоспалительные свойства пентоксифиллина, в частности его способность блокировать секрецию ФНО-α, могут приносить особую пользу больным группы максимального риска сердечно-сосудистых осложнений, в т. ч. страдающим сахарным диабетом [12]. Тиоктовая или α-липоевая кислота (АЛК), будучи по своей природе естественным метаболитом, принимает участие во многих физиологических процессах, связанных с обменом веществ, и является эффективным средством метаболической фармакотерапии. Она имеет широкий спектр биологического и фармакологического действия [13]. Тиоктовая кислота является одним из самых сильных антиоксидантов, используемых в лечении диабетической нейропатии [14].

Лечение ЭД, как и любого другого осложнения, должно начинаться с компенсации СД (уровень гликированного гемоглобина HbA1c < 7 %). После коррекции углеводного обмена, нормализации режима и диеты следует обратиться к методам специфической терапии. [15].

Материалы и методы

Описание клинического случая:

Пациент: М., 32 года, обратился с жалобами, указывающими на наличие ЭД, обусловленной СД, при сохранном либидо и половом влечении. За последние 18 месяцев сексуальная функция мужчины существенно ухудшилась. Первоначально проблемы возникали лишь в моменты стресса или усталости, но постепенно ситуация усугублялась. Несмотря на сексуальное возбуждение, достичь полноценной эрекции стало невозможно. При физической стимуляции эрекция еще возникала, но была недостаточной для завершения полового акта и быстро исчезала после эякуляции. Утренние спонтанные эрекции, раньше бывшие обычным явлением, стали реже и слабее. Эти физиологические изменения серьезно повлияли не только на интимную сферу, но и негативно отразились на психологическом благополучии мужчины, понизив его самооценку и общее эмоциональное состояние.

Анамнез: На момент консультации пациент имеет показатель гликированного гемоглобина 12,9 % и уровень витамина D 17 нг/мл. Инсулинозависимый СД1 диагностирован в возрасте 7 лет, общая продолжительность заболевания составляет 25 лет. Среди осложнений отмечается умеренная диабетическая полинейропатия нижних конечностей. Вредных привычек не имеет — не курит и не злоупотребляет алкогольными напитками.

Объективный осмотр:
- Общее состояние: удовлетворительное.
- ИМТ: 19 кг/м^2.
- Артериальное давление: 144/87 мм рт. ст.
- Пульс: 92 уд./мин.
- Неврологический статус: снижение вибрационной чувствительности в стопах.

Обследование:
- Международный индекс эректильной функции (МИЭФ-5): 8 баллов (тяжелая ЭД).
- Уровень тестостерона: в пределах нормы.
- Липидный профиль: умеренная дислипидемия.
- Ультразвуковая допплерография сосудов полового члена: признаки нарушения артериального притока крови.

Лечение:

Пациенту была назначена комбинированная терапия:
1. Тадалафил: 5 мг ежедневно.
2. Пентоксифиллин: 100 мг 3 раза в день.
3. Тиоктовая кислота: 600 мг в день внутривенно капельно в течение 10 дней, затем 600 мг в день перорально.
4. Коррекция гликемии: индивидуальная схема инсулинотерапии для достижения целевых значений HbA1c.
5. Витамин D: холекальциферол 5000 МЕ в день в течение 8 недель, затем поддерживающая доза 2000 МЕ в день.

Мониторинг:
- МИЭФ-5: через 1, 3 и 6 месяцев.
- HbA1c: через 3 и 6 месяцев.
- Витамин D: через 3 и 6 месяцев.
- Липидный профиль: через 6 месяцев.
- Оценка побочных эффектов терапии.

Результаты исследования

Таблица 1.

Динамика показателей МИЭФ-5

Срок наблюдения	МИЭФ-5 (баллы)	Степень ЭД
Исходно	8	Тяжелая
Через 1 месяц	12	Умеренная
Через 3 месяца	16	Легкая
Через 6 месяцев	17	Легкая

Таблица демонстрирует значительное улучшение эректильной функции пациента в течение 6 месяцев комбинированной терапии. Уже через 1 месяц наблюдается переход из категории тяжелой ЭД в категорию умеренной, а к 6 месяцам достигается нормальная эректильная функция.

Таблица 2.

Динамика уровня гликированного гемоглобина (HbA1c)

Срок наблюдения	Уровень HbA1c (%)
Исходно	12.9
Через 3 месяца	10.5
Через 6 месяцев	9.8

Таблица показывает значительное снижение уровня гликированного гемоглобина в течение периода наблюдения, что свидетельствует об улучшении контроля гликемии у пациента.

Таблица 3.

Динамика уровня витамина D

Срок наблюдения	Витамин D (нг/мл)
Исходно	17
Через 3 месяца	25
Через 6 месяцев	26

Таблица демонстрирует значительное повышение уровня витамина D, достижение оптимальных значений после проведения терапии.

Таблица 4.

Динамика показателей липидного профиля

Показатель	Исходно	Через 6 месяцев
Общий холестерин	6.5	5.8
ХС ЛПНП	4.2	3.5
ХС ЛПВП	1.2	1.3
Триглицериды	2.0	1.8

Таблица показывает положительную динамику в липидном профиле пациента после 6 месяцев терапии, с тенденцией к снижению общего холестерина и ХС ЛПНП.

Таблица 5.

Динамика изменения терапии
в течение периода наблюдения

Компонент	Исходно	Через 6 месяцев
Тадалафил (мг)	5	5
Пентоксифиллин (мг)	100	100
Тиоктовая кислота (мг)	600	600
Холекальциферол (МЕ)	5000	2000
Инсулинотерапия	N/A	N/A

Таблица показывает, что дозировка препаратов не менялась в течение всего периода наблюдения, за исключением дозы холекальциферола, которая позволила достичь нормальных показателей витамина D.

В течение 6 месяцев лечения наблюдалась положительная динамика:

- МИЭФ-5:
  - Исходно: 8 баллов (тяжелая ЭД).
  - Через 1 месяц: 12 баллов (умеренная ЭД).
  - Через 3 месяца: 16 баллов (легкая ЭД).
  - Через 6 месяцев: 17 балла (легкая ЭД).
- HbA1c:
  - Исходно: 12.9 %.
  - Через 3 месяца: 10.5 %.
  - Через 6 месяцев: 9.8 %.
- Витамин D:
  - Исходно: 17 нг/мл.
  - Через 3 месяца: 25 нг/мл.
  - Через 6 месяцев: 26 нг/мл.
- Липидный профиль: отмечена положительная динамика в виде снижения уровня общего холестерина и холестерина липопротеинов низкой плотности (ХС ЛПНП).

Комплексное лечение пациента, страдающего от ЭД на фоне СД1, продемонстрировало широкий спектр терапевтических преимуществ. Благоприятное воздействие наблюдалось не только в восстановлении сексуальной активности, но также отмечалось позитивное влияние на различные системы организма и органы в целом.

Обсуждение

Комплексное лечение пациента с СД1, страдающего ЭД, продемонстрировало эффективность многокомпонентного подхода. Уровень витамина D повысился, а показатели гликированного гемоглобина снизились на фоне терапии. Микроциркуляция и эндотелиальная

функция улучшились благодаря воздействию тиоктовой кислоты и пентоксифиллина, что в сочетании с вазодилатирующим действием тадалафила привело к существенному восстановлению эректильной способности. Данный клинический пример подтверждает целесообразность использования комбинации этих препаратов при лечении ЭД у пациентов с сСД1.

Для пациентов с СД, страдающих от нарушений микроциркуляции в сосудах полового члена, особое значение имеет применение пентоксифиллина, который эффективно улучшает микроциркуляцию и реологические свойства крови. Восстановлению эндотелиальной функции и нервных волокон способствует тиоктовая кислота, которая известна своими нейропротекторными и антиоксидантными свойствами.

Коррекция гликемии и восполнение дефицита витамина D также сыграли важную роль в улучшении эректильной функции. Нормализация уровня гликированного гемоглобина способствует уменьшению окислительного стресса и улучшению функции эндотелия 13. Витамин D играет важную роль в регуляции функции эндотелия и синтезе оксида азота, а его дефицит может усугублять течение ЭД.

Рассмотренный случай из клинической практики демонстрирует преимущества интегрированной лечебной стратегии, воздействующей на многочисленные механизмы развития ЭД при СД. Тем не менее, для достоверной валидации результативности и отсутствия рисков такого терапевтического подхода требуется проведение расширенных исследований с привлечением более значительной когорты пациентов.

Выводы

Таким образом, у пациентов с СД1, страдающих ЭД диабетического генеза, может быть результативным комплексное лечение, включающее тиоктовую кислоту, пентоксифиллин и тадалафил. Многокомпонентный терапевтический подход направлен на ключевые механизмы развития ЭД: восстановление эндотелиальной функции, улучшение микрососудистой циркуляции и противодействие оксидативному стрессу. Дополнительные исследования в клинической практике требуются для оценки безопасности и подтверждения эффективности этой лекарственной комбинации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурженко Ю.Н. Оценка эффективности препарата Эротон в терапии мужчин с эректильной дисфункцией и сахарным диабетом 2-го типа / Ю.Н. Гурженко // Здоровье мужчины. 2020. № 2(73). С. 64–70. DOI 10.30841/2307-5090.2.2020.212916
2. Международная федерация диабета. Атлас диабета IDF, 10-е изд. Брюссель, Бельгия: IDF, 2021. Доступно по ссылке: https://www.diabetesatlas.org
3. А.Ю. Майоров, Е.В. Суркова, О.Г. Мельникова. Сахарный диабет 1 типа, Москва, Фарм-Медиа 2016. https://school-diabet.ru/wp-content/uploads/2023/05/saharnyj_diabet_1_tipa_rukovodstvo_dlya_pacientov.pdf
4. Петер Хюртер Лютер Б. Трэвис. О сахарном диабете 1 типа для детей, подростков, родителей и других. 2-е русское издание, переработанное Герхардс/Франкфурт, Германия. https://www.dia-club.ru/library/children/dcd_hur.pdf
5. Обучающее пособие для людей с сахарным диабетом что важно знать, если у вас выявлен сахарный диабет 1 типа «К» оставители: Вайнилович Е.Г. врач-эндокринолог, специалист по обучающим программам для школ диабета Забаровская З.В. доцент 1-ой кафедры внутренних болезней ГМ, к.м.н. Шепелькевич А.П. доцент 1-ой кафедры внутренних болезней ГМ, к.м.н. Минс 2006.
6. Горлова, Анастасия Андреевна. Сахарный диабет I типа: как держать глюкозу под контролем и избежать развития осложнений заболевания / Анастасия Горлова. — Москва: Эксмо, 2023. — 192 с. — (Интеллектуальный науч. поп. медицина не для всех). https://cdn.img-gorod.ru/nomenclature/29/205/2920595.pdf
7. Обзор экспертный обзор сахарный диабет 1 типа. Современные подходы к терапии, достижения и перспективы. Е.И. Аксенова, С.Ю. Горбатов, А.А. Альшевская. https://niioz.ru/upload/iblock/786/7864a553b8672129a09bfdbc9d786e8e.pdf
8. Тадалафил в лечении эректильной дисфункции. Н.Д. Ахвледиани, И.П. Матюхов.
9. Министерство здравоохранения российской федерации инструкция по медицинскому применению лекарственного препарата Тадалафил-СЗ. https://www.uroweb.ru/tadalafil/_assets/files/imp-tadalafil.pdf?ysclid=mab931ilf5124933945
10. Влияние приёма тадалафила в низкой дозировке один раз в день на гликемический контроль у пациентов с диабетом 2-го типа и эректильной дисфункцией: рандомизированное двойное слепое плацебо-контролируемое пилотное исследование. Мин Ген Ли, Чжэ Хек Ли, Сео-Янг Сон, Со Ен Ли, Тхэ Юн Чжон,Сэ Чхоль Ким https://dmsjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13098-022-00825-w
11. Министерство здравоохранения российской федерации инструкция по медицинскому применению лекарственного препарата пентоксифиллин.
12. Общая характеристика, применение в медицине, методы качественного и количественного анализа пентоксифиллина. Тимченко Т.В., Щербакова Л.И., Компанцев В.А. общая характеристика, применение в медицине, методы
13. Лекарственные формы тиоктовой кислоты В.В. Корпачев, М.И. Борщевская. https://www.vidal.by/netcat_files/File/thio_borshch.pdf?ysclid=maba364lnr397431090
14. Тиоктовая кислота: антиоксидантная терапия неврологических заболеваний, О.А. Шавловская.
15. Препараты тиоктовой кислоты в лечении эректильной дисфункции у больных сахарным диабетом, И.А. Курникова. https://pharmateca.ru/ru/archive/article/12005

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-3.37

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ У БЕРЕМЕННЫХ ЖЕНЩИН С КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРОМБОЗОВ

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF METABOLIC PARAMETERS IN PREGNANT WOMEN WITH CORONAVIRUS INFECTION, DEPENDING ON THE OCCURRENCE OF THROMBOSIS

N. Spiridonova
F. Gilmiyarova
O. Gusyakova
G. Minnigulova
E. Khurtova

Summary. Coronavirus infection continues to be studied, and the problem of diagnosing hypercoagulation syndrome as a frequent complication of the infectious process remains relevant.
The purpose of the study: to analyze the dynamics of changes in the main metabolic parameters in pregnant women with coronavirus infection according to biochemical blood tests and to find a connection between the detected changes with the days from the onset of the disease and the moment of thrombosis development.
Materials and methods: A retrospective analysis of 99 case histories of pregnant patients of the specialized department of the State Medical University named after V.D. Seredavin for the period from 2020 to 2021 was performed. Inclusion criteria: third trimester of pregnancy, COVID-19, verified by PCR. 2 groups were formed: without thrombotic complications (n=94) and with thrombosis (n=5). The data was analyzed by a simple comparison method using the nonparametric Mann–Whitney criterion, and a correlation analysis with the calculation of the Spearman correlation coefficient. Statistical significance at $p < 0.05$.
Results: All pregnant women had hypoproteinemia, hypoalbuminemia, an increase in direct bilirubin, C-reactive protein. In the group with thrombosis, the level of total protein (p=0.004), albumin (p=0.062) and a higher level of CRP (p<0.001) were lower with the presence of an association with the days of thrombotic events, higher levels of direct bilirubin (p=0.021) and urea (p<0.001) with an increase in the indicator during the development of thrombosis. The average creatinine values in both groups were slightly below normal and did not differ (p=0.118). The average glucose values in all women were normal, but in patients with thrombosis the figures were higher, and the interquartile range reached hyperglycemia (Me 5.04 [Q_1–Q_3 4.11–6.02] mmol/l, p<0.001).
Conclusions: In women with thrombosis, the inflammatory process was more pronounced, the disease was more severe, catabolic processes prevailed. Of particular interest is the relationship between the dynamics of CRP levels and the development of thrombosis, which requires further study.

Keywords: pregnancy, coronavirus infection, CRP, thrombosis, hypercoagulation syndrome, inflammation.

Спиридонова Наталья Владимировна
д.м.н., профессор,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России
nvspiridonova@mail.ru
Гильмиярова Фрида Насыровна
заслуженный деятель науки РФ, д.м.н.,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России
f.n.gilmiyarova@samsmu.ru
Гусякова Оксана Анатольевна
д.м.н., профессор,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России
o.a.gusyakova@samsmu.ru
Миннигулова Гельшат Мидехатовна
к.м.н., заведующая отделением антенатальной охраны плода ГБУЗ СОКБ им. В.Д. Середавина, ассистент,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России
doctor.gelshat@gmail.com
Хуртова Елена Федоровна
Аспирант, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России
khurtovahel@mail.ru

Аннотация. COVID-19 продолжает изучаться, и проблема гиперкоагуляционного синдрома, как частого осложнения инфекционного процесса остается актуальной.
Цель исследования: анализ динамики изменений показателей обмена веществ у беременных с COVID-19 по данным биохимического исследования крови и поиск связи выявленных изменений с сутками от начала заболевания и моментом развития тромбоза.
Материалы и методы: выполнен ретроспективный анализ 99 историй болезни беременных пациенток специализированного отделения ГБУЗ СОКБ им В.Д. Середавина за период с 2020 по 2021 год. Критерии включения: третий триместр беременности, COVID-19, верифицированный методом ПЦР. Сформировано 2 группы: без тромботических осложнений (n=94) и с тромбозами (n=5). Выполнен анализ данных методом простого сравнения с использованием непараметрического критерия Манна–Уитни, и корреляционный анализ с вычислением коэффициента корреляции Спирмена. Статистическая значимость при $p \leq 0,05$.
Результаты: у всех беременных зафиксирована гипопротеинемия, гипоальбуминемия, повышение прямого билирубина, С-реактивного белка. В группе с тромбозами был ниже уровень общего белка (p=0,004), альбумина (p=0,062) и более высокий уровень СРБ (p<0,001) с наличием связи с сутками развития тромботических событий, более высокий уровень прямого билирубина (p=0,021) и мочевины (p<0,001) с увеличением показателя в период развития тромбоза. Средние значения креатинина в обеих груп-

пах были чуть ниже нормы и не различались (p=0,118). Средние значения глюкозы у всех женщин были в норме, но у пациенток с тромбозами цифры были выше, а межквартильный размах достигал гипергликемии (Me 5,04 [Q_1-Q_3 4,11–6,02] ммоль/л, p<0,001).

Выводы: У женщин с тромбозами более выражен воспалительный процесс заболевание протекало тяжелее, преобладали катаболические процессы. Отдельный интерес представляет связь динамики уровня СРБ с процессом развития тромбоза, что требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: беременность, коронавирусная инфекция, СРБ, тромбоз, гиперкоагуляционный синдром, воспаление.

Введение

Последствия воздействия вируса COVID на человеческий организм продолжают изучаться учеными всего мира. C.O. Hileman с соавторами сообщают о новом аутоиммунном заболевании развивающемся после перенесенной COVID-19 [1]. Группа отечественных исследователей [2] опубликовала данные частоты обнаружения антифосфолипидных антител на разных стадиях коронавирусной инфекции. Ретроспективно продолжают собираться данные о течении новой инфекции у беременных [3]. Процесс сбора информации и накопления новых знаний об опасном заболевании продолжается.

Одним из наиболее частых и опасных патологических процессов при коронавирусной инфекции является гиперкоагуляционный синдром, приводящий к тромбозу. В связи с этим проблема поиска эффективных и доступных прогностических маркеров тяжелого течения заболевания и прогнозирования риска тромботических событий остается актуальной.

Цель исследования: провести анализ динамики изменений показателей обмена веществ у беременных с коронавирусной инфекцией по суткам от начала заболевания и связь с моментом развития тромбоза.

Материалы и методы

Дизайн исследования: Ретроспективно произведен анализ данных 230 историй болезни беременных женщин, проходивших стационарное лечение по поводу новой коронавирусной инфекции в ковидном госпитале ГБУЗ СОКБ им. В.Д. Середавина с 01.04. 2020 по 01.11.2021. Для анализа отобрана группа из 99 пациенток в III триместре беременности с наличием коронавирусной инфекции, лабораторно подтвержденной методом полимеразной цепной реакции (ПЦР). В ходе исследования выделено 2 подгруппы: подгруппа А — 5 женщин с развившимися на фоне лечения тромбозами и подгруппа В — 94 женщины — без тромбозов. В подгруппе А у пациенток в процессе лечения были выявлены тромбозы вен верхней конечности (v. basilica, v. cephalica, v. cubitalis); тромбоз вен нижних конечностей (v. tibialis posterior, v. poplitea, неокклюзирующий тромбоз v. cava inferior выше почечных вен); массивная ТЭЛА, тромбоз v. lienalis в воротах селезенки; тромб в левом предсердии. Развитие тромбоза происходило с 16-х по 23-и сутки от момента возникновения заболевания. Критерии исключения: I и II триместры беременности; отсутствие лабораторного подтверждения коронавирусной инфекции методом ПЦР.

Статистический анализ: Статистический анализ и обработка данных выполнена с применением специализированного программного обеспечения: IBM SPSS Statistics software Version 25.0 (IBM Corporation, Armonk, NewYork, США, лицензия № 5725-A54). Проведен сравнительный анализ данных биохимического анализ крови в исследуемых группах (общий белок, альбумин, билирубин, мочевина, креатинин, С-реактивный белок, фибриноген, ферритин, глюкоза) с использованием непараметрического критерия Манна–Уитни. Статистические данные представлены в виде медианы и квартилей (Me [Q1; Q3]). С целью выявления зависимости динамических изменений показателей биохимии крови с сутками от начала заболевания и развитием тромбозов применялся корреляционный анализ с вычислением коэффициента корреляции Спирмена. Результаты считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

В обеих исследуемых группах уровень общего белка и альбумина был ниже нормы, но у пациенток с тромбозами гипопротеинемия была более выраженной (p <0,004) и наблюдалась тенденция к более выраженному снижению уровня альбумина (p=0,062) (таблица 1).

В динамике обоих показателей на 12–15 сутки в обеих группах женщин отмечалось снижение уровня альбумина, более выраженное у пациенток с тромбозами (p=0,04), а затем, на 16–23 сутки было зафиксировано снижение уровня общего белка, более выраженное у женщин с тромбозами (p=0,021) (таблица 2). Корреля-

Таблица 1.

Показатели обмена веществ у беременных женщин с коронавирусной инфекцией в зависимости от наличия или отсутствия тромбозов

Показатель	Тромбозов не было (Me [Q1; Q3])	Тромбозы были (Me [Q1; Q3])	P
Общий белок г/л	59,90 (55,70–65,10)	57,30 (50,88–62,15)	0,004
Альбумин г/л	30,90 (28,70–34,20)	29,55 (25,08–32,75)	0,062
С-реактивный белок, мг/мл	18,55 (3,10–50,58)	56,25 (10,98–113,30)	<0,001
Ферритин, нг/мл	88,05 (44,76–165,63)	175,46 (105,33–258,70)	0,045
Фибриноген, г/л	4,00 (3,38–4,73)	3,34 (2,04–3,99)	<0,001
Билирубин общий, мкмоль/л	7,20 (5,28–10,30)	8,20 (5,35–10,55)	0,469
Билирубин прямой, мкмоль/л	2,05 (1,00–4,15)	3,20 (2,35–6,70)	0,021
Креатинин	50,60 (42,68–60,93)	49,75 (40,43–56,20)	0,118
Мочевина	2,70 (2,00–3,60)	4,94 (2,85–8,55)	<0,001
Глюкоза	4,09 (3,52–4,92)	5,04 (4,11–6,02)	<0,001

ционные связи между уровнем общего белка и уровнем альбумина с сутками от начала заболевания в обеих группах не установлены.

Таблица 2.

Посуточная динамика показателей обмена веществ у беременных женщин с коронавирусной инфекцией в зависимости от возникновения тромбозов

Сутки от начала заболевания	Тромбозов не было (Me [Q1; Q3])	Тромбозы были (Me [Q1; Q3])	P
Общий белок (норма 66–83 г/л)			
6–8	58,20 (55,28–66,18)	60,50 (60,40–61,05)	0,792
9–11	61,00 (54,65–63,55)	57,70 (56,50–65,10)	0,957
12–15	59,10 (54,95–62,60)	54,90 (50,20–61,20)	0,126
16–23	60,00 (56,10–64,00)	56,90 (48,50–61,05)	0,021
24–72	61,90 (50,40–69,40)	55,10 (51,10–67,20)	0,810
С-реактивный белок (норма 0–5 мг/мл)			
6–8	28,70 (10,30–86,30)	63,35 (34,88–97,08)	0,163
9–11	36,90 (19,45–81,15)	54,00 (45,00–92,30)	0,181
12–15	7,10 (2,38–30,43)	74,40 (45,50–126,50)	<0,001
16–23	5,30 (1,90–32,45)	9,85 (3,70–63,20)	0,200
24–72	8,90 (2,25–44,75)	68,30 (25,40–151,00)	0,006
Билирубин общий (норма 2–21 мкмоль/л)			
6–8	8,40 (6,20–12,20)	11,50 (6,83–25,25)	0,310
9–11	7,70 (5,40–10,70)	9,50 (6,30–33,63)	0,338
12–15	6,60 (4,85–9,15)	8,60 (5,40–13,0)	0,219
16–23	7,25 (5,63–10,28)	8,45 (6,03–11,28)	0,434
24–72	5,0 (3,75–6,35)	5,4 (3,95–8,45)	0,234
Мочевина (норма 2,8–7,2 ммоль/л)			
6–8	2,40 (1,65–2,85)	1,61 (0,85–2,43)	0,157
9–11	2,30 (1,60–2,90)	2,72 (2,10–4,53)	0,185
12–15	2,50 (1,80–4,10)	6,50 (4,40–7,90)	<0,001
16–23	3,30 (2,40–5,00)	9,30 (5,74–12,10)	<0,001
24–72	3,75 (3,15–4,40)	4,09 (2,47–5,91)	0,617
Креатинин (норма 58–96 мкмоль/л)			
6–8	46,50 (42,70–57,70)	49,55 (40,48–58,63)	0,920
9–11	48,10 (39,80–57,40)	48,95 (41,98–54,25)	0,948
12–15	50,05 (40,85–61,18)	52,20 (40,80–61,20)	0,595
16–23	54,35 (43,78–66,18)	53,35 (42,78–64,20)	0,549
24–72	57,40 (49,90–63,10)	42,86 (29,06–50,83)	<0,001
Глюкоза (норма 3,9–5,1 ммоль/л)			
6–8	4,43 (3,82–5,18)	4,00 (3,65–6,16)	0,716
9–11	4,40 (3,74–5,81)	4,45 (4,03–6,00)	0,891
12–15	4,07 (3,45–4,78)	5,83 (4,76–6,44)	<0,001
16–23	3,75 (3,28–4,64)	5,60 (4,46–6,22)	<0,001
24–72	3,96 (3,62–4,40)	4,57 (3,62–5,74)	0,164

Усредненно на всех сроках наблюдения в обеих исследуемых группах С-реактивный белок (СРБ) и ферритин были повышены, более высокие цифры были зафиксированы у женщин с наличием тромботических осложнений (p<0,001 и p=0,045, соответственно). Фибриноген у всех пациенток не превышал границу нормы и был ниже у женщин с тромботическими осложнениями (p<0,001). При посуточном анализе показателей уста-

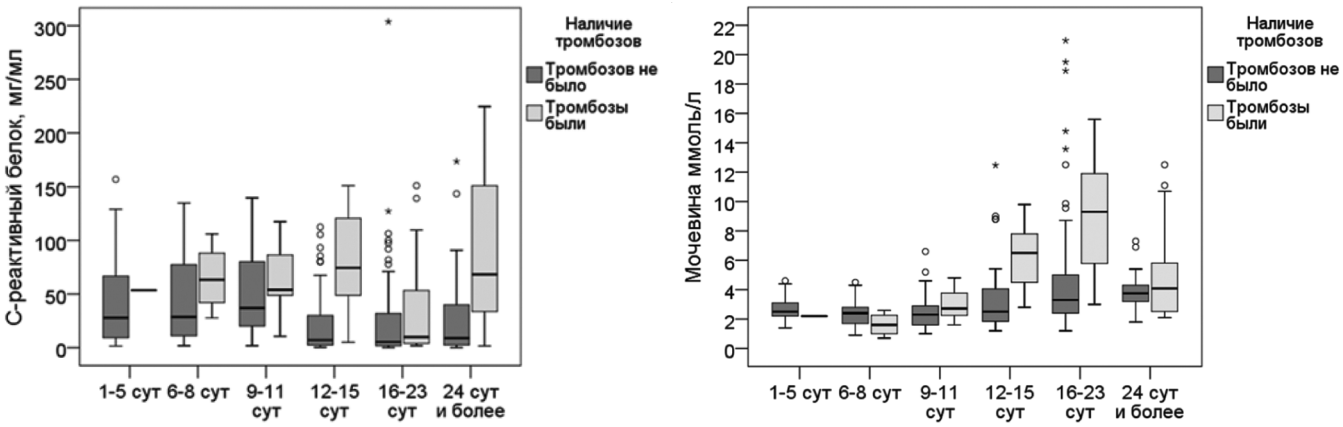


Рис. 1. Посуточная динамика уровня С-реактивного белка и мочевины

новлено, что у пациенток с тромбозами максимальные значения СРБ зафиксированы с 12 по 15 сутки болезни (рис. 1). При корреляционном анализе у пациенток без тромбозов была выявлена отрицательная связь СРБ с сутками от момента заболевания (r=–0,279, p <0,001).

Билирубин — конечный продукт распада комплексных соединений белка с гемовой структурой, в первую очередь гемоглобина. Медиана общего билирубина находилась в пределах нормы, однако значения межквартильного размаха у пациенток с тромбозами превышали границу нормы, с максимальными цифрами с 6 по 12 сутки, то есть до развития тромбоза. В ходе корреляционного анализа уровня общего билирубина с сутками болезни у женщин без тромбозов (r=–0,126, p=0,05,) и у пациенток с тромбозами (r=–0,309, p=0,015) была выявлена отрицательная связь.

Усредненные значения мочевины, являющийся показателем интенсивности распада белка, на протяжении всего периода наблюдения были достоверно выше у пациенток с тромбозами (p<0,001), но медиана данного показателя находилась в пределах нормы в обеих группах. При посуточном анализе динамики мочевины у женщин с тромбозами на 12–15 сутки произошел резкий скачек значений мочевины, с превышением нормального уровня в период развития тромбоза (рис. 1), установлена положительная корреляционная связь уровня мочевины у пациенток без тромботических осложнений (r=0,336, p <0,001).

Креатинин — один из конечных продуктов обмена белка, косвенно отражает функциональную активность почек. В обеих группах усредненные значения медианы креатинина были ниже нормативных значений, но, принимая во внимание тот факт, что все пациентки находились на третьем триместре беременности, данное незначительное снижение физиологично. При проведении корреляционного анализа уровня креатинина с сутками от начала заболевания, в группе женщин без тромбозов выявлена положительная связь (r=0,156, p=0,009), с тромбозами — напротив, отрицательная (r= –0,300 p=0,016). У женщин с тромбозами с 6 по 11 сутки средние значения креатинина постепенно снижались, в период с 12 по 23 сутки зафиксирован резкий рост средних значений данного показателя, а после 24 суток снижение до минимальных цифр за весь период наблюдения.

Медиана глюкозы в обеих группах была в пределах нормы, но у женщин с тромбозами уровень глюкозы был выше (p<0,001), а межквартильный размах достигал значений, превышающих норму. Возможно, причиной более высоких значений уровня глюкозы у пациенток с осложненным течением инфекции стало назначение более высоких доз дексаметазона. При анализе посуточной динамики уровня глюкозы в группе с тромбозами межквартильный размах на протяжении всей госпитализации превышал норму, а в период развития тромбоза, с 12 по 23 сутки, был зафиксирован резкий рост значений. При проведении корреляционного анализа установлена обратная корреляционная связь уровня глюкозы с сутками заболевания в группе без тромботических осложнений (r=–0,192, p=0,002).

Обсуждение

У всех инфицированных беременных значения общего белка были низкими, что может быть объяснено снижением белково-синтетической функции печени в результате ее вирусного поражения либо повышенным потреблением и распадом белка при инфекционном процессе. О возможности вирусного повреждения печени говорит множество исследователей. Так Chai X с соавт (2020 г.) и Lei F (2020 г.) считают, что SARS-CoV-2 поражает печень, о чем свидетельствует повышение в холангиоцитах экспрессии рецепторов АПФ-2 [4-5]. Щикота А.М. с соавт (2021 г.) рассматривают в качестве возможных механизмов повреждения печени развитие цитокинового шторма, гипоксически-реперфузионную дисфункцию в результате ОРДС и ятрогенное повреждение печени в результате применения гепатотоксичных лекарств. [6]. Также о поражении печени, по мнению большинства

исследователей, свидетельствует повышение уровня трансаминаз и билирубина [7].

Ранее, при разборе коагулограммы, нами уже было отмечено снижение одного из белков плазмы — фибриногена при развитии тромботических осложнений [8]. В связи с этим можно предположить, что для формирования тромба необходимы факторы свертывания крови, которые имеют белковую структуру и за счет их потребления (в частности фибриногена) происходит снижение уровня общего белка крови.

Еще одной возможной причиной снижения уровня общего белка может быть его усиленный распад в ходе развития тромбоза [9]. При тромбообразовании образующиеся свободные радикалы взаимодействуют с боковыми функциональными группами аминокислот, в результате происходит окислительная модификация белков, выделяются продукты первичного окисления и карбонильные соединения. В результате белок разрушается и в крови повышается уровень метаболитов белка. В ходе проводимого исследования было установлено, что уровень мочевины повышался в период развития тромбоза и на 16–23 сутки превышал норму у пациенток с тромботическими осложнениями.

Уровень креатинина на протяжении всего периода госпитализации в обеих группах пациенток в среднем был ниже нормы, что является физиологическим для беременности [10]. В динамике с 12 по 23 сутки в обеих подгруппах инфицированных женщин отмечалось незначительное повышение креатинина, не выходящее за рамки нормальных значений. В один и тот же период времени отмечалось снижение белка и рост показателей мочевины и креатинина, следовательно, в этот период произошло усиление распада белка.

С-реактивный белок (СРБ) был высоким у всех женщин с COVID-19, но он закономерно был выше у пациенток с тромбозами. Кроме того, что это основной острофазовый показатель [11], доказана связь СРБ с механизмом развития тромбоза и участие в так называемом иммунотромбозе [12], который рассматривается в качестве основного механизма тромбообразования при коронавирусной инфекции [13]. В ходе нашего исследования было выявлено, что уровень СРБ значимо повышается в периоды развития тромбоза, что совпадает с данными зарубежных авторов [14–15].

Повышение уровня глюкозы при коронавирусной инфекции было отмечено во многих исследованиях. Предположительно, причиной является вирусное поражение β-клеток в островках поджелудочной железы [16]. Сообщалось даже о случаях развития острого панкреатита [17]. Еще одной возможной причиной повышения уровня глюкозы у больных с коронавирусной инфекций может быть назначение лекарственных препаратов, в частности кортикостероидов.

Заключение

У всех пациенток была выявлена гипопротеинемия, гипоальбуминемия, незначительное повышение в единичных случаях прямого билирубина что, возможно, является следствием повреждения печени вирусом или токсическим действием большого количества лекарственных препаратов, включая антибиотики, противовирусные и глюкокортикоидные препараты. У женщин с более тяжелым течением инфекции получены закономерно более высокие цифры СРБ, но кроме того у пациенток с тромбозом выявлена корреляционная связь уровня СРБ с моментом возникновения тромбоза, что представляется нам особенно интересным и требует дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hileman CO, Malakooti SK, Patil N, Singer NG, McComsey GA. New-onset autoimmune disease after COVID-19. Front Immunol. 2024 Feb 8;15:1337406. PMID: 38390319; PMCID: PMC10883027. https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1337406
2. Михайлова Ю.В., Чепурченко Н.В., Обрядина А.П. Частота обнаружения и длительность циркуляции маркеров антифосфолипидного синдрома у пациентов с подтвержденным диагнозом COVID-19. Акушерство, Гинекология и Репродукция. 2024;18(2):180–187. https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2024.504
3. Рокотянская Е.А., Панова И.А., Малышкина А.И., Песикин О.Н., Безирова Л.Х., Чесалова А.С. Течение беременности и ее исходы у женщин, перенесших COVID-19. Проблемы репродукции. 2024;30(1):92–99. https://doi.org/10.17116/repro20243001192
4. Chai X., Hu L., Zhang Y., Han W., Lu Z., Ke A., et al. Specific ACE2 expression in cholangiocytes COVID-19 may cause liver damage after 2019-nCoV infection. bioRx-iv. 2020; https://doi.org/10.1101/2020.02.03.931766.
5. Lei F, Liu YM, Zhou F, Qin JJ, Zhang P, Zhu L, et al. Longitudinal Association Between Markers of Liver Injury and Mortality in COVID-19 in China. Hepatology. 2020;72:389–398. https://doi.org/10.1002/hep.31301.
6. Щикота А.М., Погонченкова И.В., Турова Е.А., Рассулова М.А., Филиппов М.С. Поражение желудочно-кишечного тракта, печени и поджелудочной железы при COVID-19. Доказательная гастроэнтерология. 2021;10(1):30–37. https://doi.org/10.17116/dokgastro20211001130
7. Абдулганиева Д.И., Мухаметова Д.Д., Шамсутдинова Н.Г., Галиева А.М. Изменение функциональных проб печени у пациентов с COVID-19. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2022;203(7): 123–130 https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-203-7-123-130.

8. Спиридонова Н.В., Гриценко Т.А., Хуртова Е.Ф. Прогностическая ценность показателей стандартной коагулограммы для оценки риска возникновения тромбозов у беременных при коронавирусной инфекции // Акушерство и гинекология: новости, мнения, обучение. 2024. Т. 12, № 2. С. 50–58. / https://doi.org/10.33029/2303-9698-2024-12-2-50-58
9. Короткова Н.В., Сучков И.А., Фомина М.А. Маркеры карбонильного стресса и резервно-адаптационный потенциал тромбированной вены при остром венозном тромбозе в эксперименте. Флебология. 2019;13(4):278–284. https://doi.org/10.17116/flebo201913041278
10. Погребняк А.А., Хорляков К.В., Хорлякова О.В. Изменения биохимических показателей у беременных женщин. Международный студенческий научный вестник. — 2015. — № 2-2. https://eduherald.ru/ru/article/view?Id=13044 (дата обращения: 30.06.2024).
11. Gewurz H, Mold C, Siegel J, Fiedel B. C-reactive protein and the acute phase response. Adv Intern Med (1982) 27:345–72. https://doi.org/10.1080/21548331.1982.11702332
12. Dix C, Zeller J, Stevens H, Eisenhardt SU, Shing KSCT, Nero TL, et al. (2022) C-reactive protein, immunothrombosis and venous thromboembolism. Front. Immunol. 13:1002652. https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1002652
13. Shaw RJ, Bradbury C, Abrams ST, Wang G, Toh CH. COVID-19 and immunothrombosis: emerging understanding and clinical management. Br J Haematol (2021) 194(3):518–29. https://doi.org/10.1111/bjh.17664.
14. Garcia-Ortega A, Oscullo G, Calvillo P, Lopez-Reyes R, Mendez R, Gomez-Olivas JD, et al. Incidence, risk factors, and thrombotic load of pulmonary embolism in patients hospitalized for COVID-19 infection. J Infect (2021) 82(2):261–9. https://doi.org/10.1016/j.jinf.2021.01.003
15. Al-Samkari H, Karp Leaf RS, Dzik WH, Carlson JCT, Fogerty AE, Waheed A, et al. COVID-19 and coagulation: Bleeding and thrombotic manifestations of SARS-CoV-2 infection. Blood (2020) 136(4):489–500. https://doi.org/10.1182/blood.2020006520.
16. Yang, JK., Lin, SS., Ji, XJ. et al. Binding of SARS coronavirus to its receptor damages islets and causes acute diabetes. Acta Diabetol 47, 193–199 (2010). https://doi.org/10.1007/s00592-009-0109-4
17. Bokhari SMMA, Mahmood F. Case Report: Novel Coronavirus—A Potential Cause of Acute Pancreatitis?. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene. 2020;103(3):1154–1155. https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-0568

Наши авторы

Abramova N. — Ph.D., Associate Professor, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, (Saint Petersburg)

Afanasyev G. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, BMSTU

Agapov V. — Volgograd State Technical University

Ashtarkhanov M. — Resident Physician, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

Ataeva Z. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Aydemirov A. — Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Hospital Surgery, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Stavropol State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation; Stavropol Regional Clinical Hospital (Stavropol, Russian Federation)

Baldin A. — doctor of Technical Sciences, Professor, Bauman Moscow State Technical University

Belokurova E. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Belova M. — is a psychiatrist, head of the branch of the V.A. Gilyarovsky Psychiatric Hospital of the Moscow State Medical University, Psychiatric Clinical Hospital No. 4 named after P.B. Gannushkin, Moscow

Bogonina O. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor; Surgeon of surgical department №2 Penza State University; G.A. Zakharyin Clinical Hospital №6

Bolshelapov M. — postgraduate student, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Burygina L. — Candidate of Medical Sciences, Chief Physician, Moscow Psychiatric Clinical Hospital No. 4 named after P.B. Gannushkin, Moscow

Cheremisin A. — cand. geogr. sciences, associate professor, Polar State University N.M. Fedorovsky, Norilsk

Chernobrovkina T. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Academy of Postgraduate Education of the Federal State Budgetary Institution «Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies» of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Moscow

Our authors

Chupis S. — Moscow State Technical University names Bauman

Dalgatov Kh. — MD, PhD, Dagestan State Medical University

Danilova M. — Candidate of Sociological Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saratov State Law Academy»

Dmitrovich V. — corresponding member DV NAS (Khabarovsk)

Dzhafarova A. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State University, (Makhachkala)

Egunov V. — Ph.D., Associate Professor, Volgograd State Technical University

Galanina I. — Senior Lecturer, Pacific State University, Khabarovsk, Russia

Gapanyuk Yu. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, BMSTU

Gilmiyarova F. — MD, Dr Sci Med, Professor, Samara State Medical University, Samara, Russia

Goryachkin B. — candidate of technical Sciences, associate Professor, Moscow State Technical University names Bauman

Gubanov D. — Senior Lecturer, Tambov State University named after G.R. Derzhavin

Gurcheva T. — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Gusyakova O. — MD, Dr Sci Med, Professor, Samara State Medical University, Samara, Russia

Huseynova R. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Igumnov S. — MD, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

Istomina V. — is a psychiatrist, head of the General Psychiatric Department No. 19 of the V.A. Gilyarovsky Psychiatric Hospital, a branch of the State Budgetary Healthcare Institution, Moscow, Psychiatric Clinical Hospital No. 4 named after P.B. Gannushkin, Moscow

Ivanov Yu. — Candidate of Science, associate Professor, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Kalashnikov V. — Postgraduate, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow

Kaliberda S. — postgraduate student, Bunin Yelets State University

Kardashian R. — Doctor of Medical Sciences, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia», Moscow

Kayalova S. — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Dagestan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Khalilov R. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State University, (Makhachkala)

Kharchenko D. — Altai State Pedagogical University, Barnaul

Khrol E. — Lecturer, Krasnodar Branch Financial University under the Government of the Russian Federation

Khurtova E. — The PhD student, Samara State Medical University, Samara, Russia

Kopeliovich D. — Candidate of Pedagogical Sciences, associate professor, FGBOU VO «Bryansk State Technical University»

Kostyuk G. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Physician of the Moscow State Medical University, Psychiatric Clinical Hospital No. 1 named after N.A. Alekseev, Moscow

Kovaleva V. — cardiologist, resuscitator, medical director, Research Institute of Functional Nutrition, Moscow

Krainov V. — Engineer of LLC «Ecological Bureau», Togliatti

Krasovskaya M. — chief physician, clinic of holistic medicine and diagnostics «Adaptogenzz»

Kravtsov M. — Head of the Design Department of LLC «Ecological Bureau», Togliatti

Kravtsova M. — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate professor, Director of LLC «Ecological Bureau», Togliatti

Kudayev M. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Kurguz M. — Graduate student, FGBOU VO «Bryansk State Technical University»

Leyba P. — Moscow State Technical University names Bauman

Lin Yu. — postgraduate student, BMSTU

Lyalkov N. — Ufa University of Science and Technology

Machalin P. — Urologist, S.S. Yudin City Clinical Hospital, Moscow

Magomedov A. — MD, PhD, Head of the Surgical Department of the Federal Healthcare Institution Medical and Sanitary Unit of the Republic of Dagestan, Major of the Medical Service, Assistant, Dagestan State Medical University

Magomedov M. — MD, Dagestan State Medical University

Malevanny A. — osteopath, clinic of holistic medicine and diagnostics «Adaptogenzz»

Mamedov R. — Dentist at KIDS SMILE Clinic

Matkurbanov T. — PhD student, Novosibirsk state University

Minnigulova G. — PhD, State Budgetary Healthcare Institution of the Samara Regional Clinical Hospital named after V.D. Seredavin; Assistant, Samara State Medical University, Samara, Russia

Mlynar E. — PhD in Biology, Far Eastern State Medical University (Khabarovsk)

Molyakov A. — PhD, Associate Professor, Russian State Humanitarian University (Moscow)

Mordvintsev D. — candidate of chemical sciences, Research Institute of Functional Nutrition

Morozov A. — PhD, Federal state military educational institution of higher professional education «Military space Academy named after A.F. Mozhaisky», Saint-Petersburg

Nikiforov I. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Academy of Postgraduate Education of the Federal State Budgetary Institution «Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies» of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Moscow

Oshkin A. — postgraduate student, Moscow Financial and Law University

Osmanov A. — Dagestan State Medical University

Osmanova A. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Pavlov B. — Endocrinologist, assistant, Institute of Medicine and Health Care named after G.R. Derzhavin, Russian Federation, Tambov

Pavlov V. — candidate of economic sciences, associate professor, Moscow Financial and Law University

Pechenkin V. — Doctor of Sociological Sciences, Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Poluhin I. — Volgograd State Technical University

Popadyev I. — Pacific State University, Khabarovsk, Russia

Poryvaev G. — Pacific National University, Khabarovsk

Pruss B. — Candidate of Technical Sciences, associate professor, FGBOU VO «Bryansk State Technological University of Engineering»

Rabadanova Z. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State University, (Makhachkala)

Ramazanov M. — MD, Dagestan State Medical University

Rastanina N. — Associate Professor, Pacific State University, Khabarovsk, Russia

Rubezhov A. — Ph.D., Associate Professor, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, (Saint Petersburg)

Rudakov R. — postgraduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation»

Sabirgalieva A. — Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow

Sapelnikov O. — Dr. of Sci. (Med.), Chief Researcher, the Laboratory of Surgical and X-Ray Surgical Methods for the Treatment of Cardiac Arrhythmias, Department of Cardiovascular Surgery, E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology, Moscow, Russian Federation, (Moscow, Russian Federation)

Saqqour L. — postgraduate student BMSTU

Sazanov G. — Interventional Radiologist, Division of Image-Guided Diagnosis and Surgery, (Stavropol, Russian Federation)

Senzhapova N. — Penza State University

Sklyarov B. — Resident Physician, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Russian Federation, Moscow

Soskovets A. — Graduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Omsk State Technical University

Spiridonova N. — MD, Dr Sci Med, Professor, Samara State Medical University, Samara, Russia

Taufik V. — nutritionist, clinic of holistic medicine and diagnostics «Adaptogenzz»

Te O. — Cand. Sc. (Philolog.), Assoc. Professor, Bauman Moscow State Technical University

Terpigoreva I. — Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Ufa University of Science and Technology

Tlupov I. — ITMO University

Ulengova T. — Senior lecturer, Pacific National University, Khabarovsk

Ulitovskiy S. — D.M.Sc., Professor, First Saint Petersburg State Medical University named after academician I.P. Pavlov; Saint Petersburg State University

Vazhov S. — cand. biol. sciences, associate professor, Altai State Pedagogical University, Barnaul

Vazhov V. — doctor of agricultural sciences, professor, Altai State Pedagogical University, Barnaul

Vilgan A. — Bauman Moscow State Technical University

Vinogradova E. — Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Yangurazova G. — Penza State University

Yaskov M. — doctor of agriculture sciences, professor, Gorno-Altai State University, Gorno-Altaisk

Yershova E. — Lecturer, Federal state military educational institution of higher professional education «Military space Academy named after A.F. Mozhaisky», Saint-Petersburg

Zeitoun Abdulfattah — Graduate student, Bauman Moscow State Technical University

Zybin V. — Volgograd State Technical University

Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале

Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала "Современная наука: актуальные проблемы теории и практики" принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе "Антиплагиат".

За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал "Современная наука: актуальные проблемы теории и практики" проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

Правила оформления текста.

- Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением ".doc", или ".rtf", шрифт 14 Times New Roman.
- Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- Литература составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Правила написания математических формул.

- В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

Правила оформления графики.

- Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные — 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» (e-mail: redaktor@nauteh.ru).