

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 2 2025 (ФЕВРАЛЬ)

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

Журнал издается с 2011 года.

### Редакция:

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

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

### Издатель:

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

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

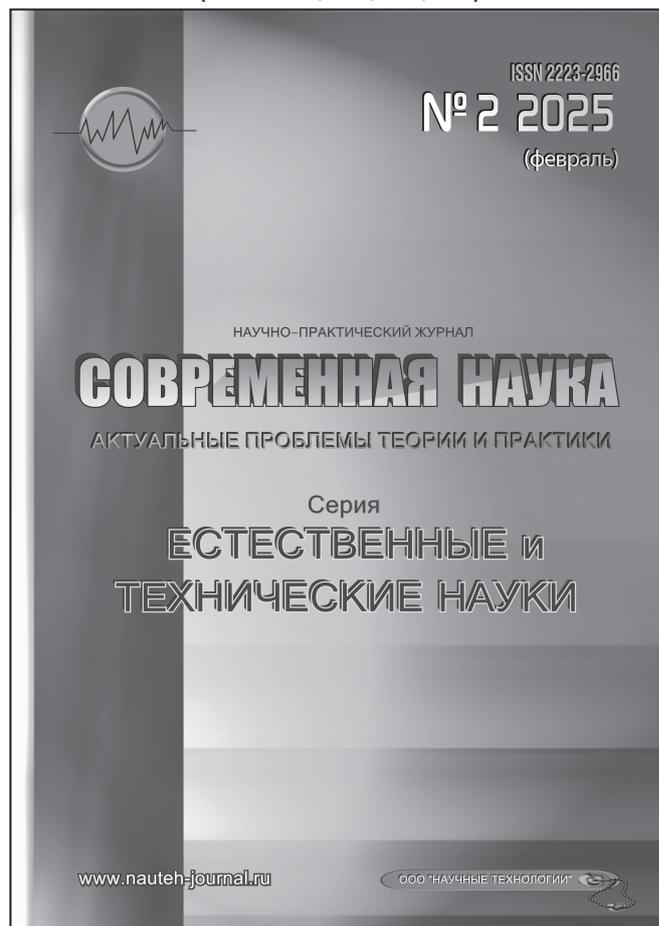
Журнал зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере массовых коммуникаций,  
связи и охраны культурного наследия.

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

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.x, 2.3.x, 3.1.x)



### В НОМЕРЕ:

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

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

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

Журнал отпечатан в типографии  
ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296  
Подписано в печать 11.02.2025 г. Формат 84x108 1/16  
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



# Редакционный совет

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## Общая биология

**Дрожжина В.Н.** — Изменение морфолого-анатомических показателей вегетативных органов *Pinus Sylvestris* L. в условиях техногенного загрязнения

*Drozhhina V.* — Morphological-anatomical changes of vegetative organs *Pinus sylvestris* L. under man-made pollution. ....7

**Осинкина Т.В.** — Активность супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы пастушьей сумки обыкновенной (*capsella bursa-pastoris* (L.) medik) в условиях влияния экотоксикантов — полихлорированных бифенилов

*Osinkina T.* — Activities of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase of common shepherd's purse (*capsella bursa-pastoris* (L.) medik) under influence of ecotoxicants — polychlorinated biphenyls .....12

**Фомичева Е.М., Поддубная А.А.** — Влияние длины светового дня на поведение мышей *mus musculus molossinus* I

*Fomicheva E., Poddubnaya A.* — Effect of daylight length on the behavior of mice *mus musculus molossinus* I. ....17

## Информатика, вычислительная техника и управление

**Аксенов С.Г., Синагатуллин Ф.К.** — Повышение эффективности организационных систем за счет рейтингового анализа

*Aksenov S., Sinagatullin F.* — Improving efficiency through rating analysis in organizational systems. ...25

**Алтынников М.С., Сачков Д.И., Шишкин Ю.Н.** — Сравнительный анализ системы верификации данных с использованием технологии распределённого реестра

*Altynnikov M., Sachkov D., Shishkin Yu.* — Comparative analysis of the data verification system using distributed registry technology .....31

**Антоновская О.Г., Бесклубная А.В.** — Качественный анализ динамики математической модели синтезатора частоты с импульсным частотно-фазовым детектором, использующей фазовые подпространства

*Antonovskaya O., Besklubnaya A.* — Qualitative analysis of the dynamics of a mathematical model of a frequency synthesizer with a pulse frequency-phase detector using phase subspaces .....36

**Воробьев Д.В., Семендяев Р.Ю.** — Использование методов компьютерного зрения для автоматизации процесса обработки фотографий геологических образцов

*Vorobev D., Semendyaev R.* — Application of Computer Vision Methods for Automating the Processing of Geological Sample Photographs .....41

**Горячкин Б.С., Перлин Л.В.** — Анализ эффективности системы мониторинга и оповещений

*Goryachkin B., Perlin L.* — Analysis of the efficiency of monitoring and notification systems .....48

**Горячкин Б.С., Мартынова П.В., Скворцов К.С.** — Эргономический анализ временных характеристик бизнес-процессов в приложении report.ms

*Goryachkin B., Martynova P., Skvortsov K.* — Ergonomic analysis of time characteristics of business processes in the report.ms application .....61

**Гуляев В.Е.** — Моделирование надежности системы оборудования, программного обеспечения и взаимодействия оборудования и программного обеспечения

*Gulyaev V.* — Modelling the reliability of hardware, software, and hardware/software system interactions .....68

**Гусак Е.В.** — Интеллектуальные системы поддержки принятия решений на сельскохозяйственных предприятиях на основе адаптивных онтологий

*Gusak Ye.* — Intelligent decision support systems in agricultural enterprises based on adaptive ontologies .....72

- Иванчина О.В.** — Кибербезопасность и защита данных сотрудников в условиях цифровизации  
*Ivanchina O.* — Cybersecurity and employee data protection in the context of digitalization .....77
- Кравченко А.Н.** — Разработка и обоснование типовой организационно-технической системы сервиса системы управления данными об изделии государственной корпорации в условиях цифровой трансформации машиностроительной отрасли  
*Kravchenko A.* — Development and substantiation of a standard organizational and technical service system for the product data management system of a state corporation in the context of the digital transformation of the machine-building industry .....81
- Крепак И.** — Обзор технических мероприятий, проводимых интернет-агрессором для успешного акта кибербуллинга и компьютерные меры противодействия  
*Krepak I.* — Overview of technical measures taken by an internet aggressor for a successful act of cyberbullying and computer countermeasures ....88
- Кузьмин Н.Н., Качалов С.К., Завьялов А.В.** — Алгоритмы демодуляции акустических сигналов в волоконно-оптических когерентных рефлектометрических системах  
*Kuzmin N., Kachalov S., Zavjalov A.* — Algorithms of acoustic signals demodulation in fiber-optic coherent reflectometric systems .....93
- Мовсисян Л.К., Смоленцева Т.Е.** — Применение механизмов стимулирования в системе поддержки принятия решений для омниканального продвижения товаров и услуг  
*Movsisyan L., Smolentseva T.* — Application of incentive mechanisms in the decision support system for omni-channel promotion of goods and services ..... 100
- Мохамед Дуаш, Ронкин М.** — Передовые методы машинного обучения для улучшенного прогнозирования стадий болезни Альцгеймера  
*Mohamed Douache, Ronkin M.* — Advanced machine learning techniques for enhanced prediction of Alzheimer's disease stages ..... 106
- Мурашкин И.Н., Алиев М.В.** — Анализ цифрового следа пользователей социальной сети ВКонтакте с использованием возможностей VK API  
*Murashkin I., Aliev M.* — Analysis of the digital footprint of VKontakte users using the VK API. .... 114
- Олимпиев С.А., Неклюдов А.В.** — Формирование характеристик элемента станции на основе методов машинного обучения  
*Olimpiev S., Neklyudov A.* — Formation of station element characteristics on the basis of machine learning methods ..... 119
- Поляков А.Н., Полякова К.Э.** — Сегментация спутниковых снимков Sentinel и Landsat: современные подходы и перспективы  
*Polyakov A., Polyakova K.* — Segmentation of Sentinel and Landsat satellite images: current approaches and prospects ..... 123
- Рогов В.Д., Харитонов А.Ю.** — Разработка платформы для тестирования масштабируемости системы мониторинга и управления сетевыми элементами на основе подхода «инфраструктура как код»  
*Rogov V., Kharitonov A.* — Platform for testing the scalability of monitoring and management system based on «infrastructure as code» ..... 128
- Тарасов В.С.** — Снижение влияния ошибок в обучающих данных для нейронных сетей на примере медицинского образования  
*Tarasov V.* — Reducing the impact of training data errors on training of neural networks in medical education ..... 135
- Федоров С.Ю., Дриленко Д.В., Дриленко А.А.** — Обзор киберугроз для «умных домов» и «умных городов»: системная классификация и анализ тенденций  
*Fedorov S., Drilenko D., Drilenko A.* — Overview of cyber threats to smart homes and smart cities: systematic classification and trend analysis ..... 142
- Фролов Д.А., Харитонов А.Ю.** — Микросервисная архитектура плагинов для устройств интернета вещей  
*Frolov D., Kharitonov A.* — Security, scalability, and efficient resource allocation analysis on internet of things management platforms ..... 148

- Чжи Жуйпэн** — Исследования по применению интеллектуальных систем управления на основе глубокого обучения в нефтегазовой отрасли  
*Zhi Rui peng* — Research on the application of intelligent control systems based on deep learning in the oil and gas industry ..... 154
- Чжо Тинтин** — Исследование эффективности квантового распределения ключей в защищенных коммуникационных системах с использованием машинного обучения  
*Zhuo Tingting* — Study of the efficiency of quantum key distribution in secure communication systems using machine learning..... 159
- Широкова Е.В.** — Сравнение метрик бинарной классификации для оценки эффективности алгоритмов машинного обучения  
*Shirokova E.* — Comparison of binary classification metrics for evaluating the effectiveness of machine learning algorithms..... 164
- Клиническая медицина
- Абросимов С.С.** — Боевые повреждения черепа и головного мозга. Зарубежные клинические рекомендации по оказанию нейрохирургической помощи  
*Abrosimov S.* — Combat related traumatic brain injury. Foreign clinical guidelines for neurosurgical management..... 170
- Ахмадзянова А.Р., Ховаева Я.Б.** — Клиническая характеристика пациентов с острым коронарным синдромом и признаками дисплазии соединительной ткани  
*Akhmadzyanova A., Khovaeva Ya.* — Clinical characteristics of patients with acute coronary syndrome and signs of connective tissue dysplasia..... 176
- Гусенкадиева К.Н., Улмасов А., Расулов И.М.** — Сравнительный анализ эффективности КТ, МРТ и УЗИ в диагностике различных патологий ВНЧС  
*Gusenkadieva K., Ulmasov A., Rasulov I.* — Comparative analysis of the effectiveness of CT, MRI and ultrasound in the diagnosis of various TMJ pathologies ..... 182
- Карпин В.А., Шувалова О.И., Кобец В.Ю.** — Проблемы хронизации патологического процесса  
*Karpin V., Shuvalova O., Kobets V.* — Problems of chronic pathological process..... 188
- Лихачев А.С., Борисова К.В., Юрьева С.В., Юрьева А.И., Хлопина И.А.** — Диагностика заболеваний артерий нижних конечностей в практике врача-терапевта  
*Likhachev A., Borisova K., Iureva S., Iureva A., Khlopina I.* — Diagnosis of lower extremity artery diseases in practice of general practitioner ..... 192
- Оревков Е.Б., Амарантов Д.Г., Стринкевич А.В., Барина А.С., Денисова П.С., Федачук Н.А.** — Оптимизация методики прогнозирования и профилактики рецидивов желудочно-кишечных кровотечений при синдроме Дьелафуа  
*Orevkov E., Amarantov D., Strinkevich A., Barinova A., Denisova P., Fedachuk N.* — Optimization of methods for predicting and preventing recurrence of gastrointestinal bleeding in Dieulafoy syndrome ..... 196
- Пелишенко Т.Г., Лазарчик Т.А., Митюшин А.А.** — Клиническое наблюдение и хирургическое лечение пациентки с подострым верхнечелюстным синуситом грибковой этиологии  
*Pelishenko T., Lazarchik T., Mityushin A.* — Clinical observation and surgical treatment of a patient with subacute maxillary sinusitis of fungal etiology..... 202
- Рошчин Е.М.** — Нейромышечная стоматология: электромиография и кинезиография в диагностике и лечении дисфункций жевательного аппарата  
*Roshchin E.* — Neuromuscular dentistry: electromyography and kinesiology in the diagnosis and treatment of masticatory system dysfunctions ..... 206
- Рошчин Е.М.** — Инновационные CAD/CAM-технологии в ортопедической стоматологии: точность, эстетика, долговечность конструкций  
*Roshchin E.* — Innovative CAD/CAM technologies in prosthetic dentistry: precision, aesthetics, durability of structures..... 214

<b>Скапкарева В.О., Латюшина Л.С., Малышева Л.Ю.</b> — Сравнительный анализ различных методов консервации лунки удаленного зуба: перспективы топической цитокинотерапии <i>Skapkareva V., Latyushina L., Malysheva L.</i> — Comparative analysis of various methods of preservation of an extracted tooth: prospects for topic cytokinotherapy..... 220	<b>Хмара А.Д., Капралов С.В., Полиданов М.А., Масляков В.В., Данилов А.Д., Волков К.А.</b> — Хирургическая тактика в лечении двухсторонней буллезной эмфиземы легких <i>Khmara A., Kapralov S., Polidanov M., Maslyakov V., Danilov A., Volkov K.</i> — Surgical tactics in the treatment of bilateral bullous pulmonary emphysema..... 230
<b>Фадюхина Д.И., Прошина М.Л., Сашкина Т.И., Лукашова К.А.</b> — Роль цитокинов в патогенезе острого и хронического воспаления при остром и хроническом алкогольном гепатите <i>Fadiukhina D., Proshina M., Sashkina T., Lukashova K.</i> — The role of cytokines in the pathogenesis of acute and chronic inflammation in acute and chronic alcoholic hepatitis..... 225	<b>Шведова А.А., Соловьева И.А.</b> — Внезапная смерть: медико-социальные факторы, стратификация риска, диагностика (обзор литературы) <i>Shvedova A., Solovyova I.</i> — Sudden mortality: medical and social factors, risk stratification, diagnosis (literature review)..... 236
	Наши авторы ..... 242

# ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНОВ *PINUS SYLVESTRIS* L. В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

## MORPHOLOGICAL-ANATOMICAL CHANGES OF VEGETATIVE ORGANS *PINUS SYLVESTRIS* L. UNDER MAN-MADE POLLUTION

V. Drozhzhina

*Summary.* In conditions of environmental pollution by emissions of man-made origin of various origins, there is a change in the quantitative and qualitative parameters of the vegetative organs of *Pinus sylvestris* L. There is a decrease in the growth of annual shoots, both in length and thickness, an increase in the number of needles, and the life expectancy of needles is shortened. Under the influence of pollutants, areas of the affected needles appear, drying is observed. The parameters of the needles are reduced, and changes in the resin-bearing system are observed. The number and diameter of resin passages are reduced, anomalies in their laying are noted: doubling of resin passages, necrotization of individual areas, filling with waste products, deepening of passages into the thickness of the mesophyll, underdevelopment of resin channels. The change in the length of the tissues forming the needles is most pronounced in a reduction in the main vein and an increase in the area of the sclerenchyma.

*Keywords:* hypoderm, mesophyll, bifurcation, resin passages, needles, endoderm, epidermis, *Pinus sylvestris* L.

**Дрожжина Вероника Николаевна**

Доцент, кандидат биологических наук, Воронежский  
государственный педагогический университет  
o.drozhzhin@gmail.com

*Аннотация.* В условиях загрязнения окружающей среды выбросами техногенного происхождения различного генеза наблюдается изменение количественных и качественных параметров вегетативных органов *Pinus sylvestris* L. Отмечено сокращение прироста годичных побегов, как в длину, так и в толщину, увеличение охвоенности, сокращается продолжительность жизни хвои. Под воздействием загрязнителей появляются участки пораженной хвои, наблюдается усыхание. Сокращаются параметры хвоинок, наблюдаются изменения в смолоносной системе. Сокращаются количество и диаметр смоляных ходов, отмечены аномалии в их заложении: удвоение смоляных ходов, некротизация отдельных участков, заполнение продуктами жизнедеятельности, углубление ходов в толщу мезофилла, недоразвитие смоляных каналов. Изменение в протяженности тканей, складывающихся хвоинку ярче всего, выражается в сокращении площади главной жилки и увеличении площади склеренхимы.

*Ключевые слова:* гиподерма, мезофилл, охвоенность, смоляные ходы, хвоя, эндодерма, эпидерма, *Pinus sylvestris* L.

Антропогенное воздействие на растительные организмы достаточно велико, вычлнить отдельные факторы в естественных условиях невозможно, и мы рассматриваем комплексное воздействие на растительный организм. Реакции растений на субклеточном, клеточном, тканевом и органном уровнях позволяют понять механизмы их адаптации к негативным условиям существования, использовать изменяющиеся показатели в их морфологии, анатомии и физиологии в целях мониторинга состояния окружающей среды. Индикаторные способности ряда растений отмечены давно, и сосна обыкновенная является одним из видов индикаторов загрязнителями различной природы. Растение отличается широким ареалом, является лесообразующей породой и используется в качестве тест объекта на многих территориях. Морфометрические и анатомические параметры хвои изменяются в зависимости от степени антропогенной нагрузки и уровня загрязнения. На основании глазомерной оценки состояния хвои разработаны шкалы повреждения хвои и усыхания по классам. На-

более информативными морфометрическими признаками являются: длина, ширина, высота, площадь поперечного сечения хвоинки, коэффициент флукутирующей асимметрии, охвоенность побегов, продолжительность жизни хвои [1, 2, 3, 4, 5]. Анатомические параметры, используемые в целях диагностики: толщина и процентное содержание или площадь, занимаемая тканями на поперечном срезе (эпидерма, гиподерма, мезофилл, главная жилка и ее составляющие). Характеристика смолоносной системы: количество, диаметр смоляных ходов, степень их развития и особенности заложения. Особенности строения устьичного аппарата: линейные показатели, количество устьиц на единицу площади [6, 7, 8, 9, 10].

Исследования проводились в Эртильском районе Воронежской области в 2018–2022 гг. На территории района были заложены 7 пробных площадок (ПП), в зонах с разным уровнем загрязнения. Эртильский район находится на северо-востоке Воронежской области на юге лесостепной зоны, процент, занятый лесами невелик

и составляет около 3,5 %, основной лесообразующей древесной породой является сосна обыкновенная.

Первая пробная площадка заложена на территории села Щучинские пески Эртильского района Воронежской области, на расстоянии 25 км от техногенных источников загрязнения.

Вторая и третья пробные площадки заложены в городе Эртиль на расстоянии 3 км от предприятий: ОАО «Завод растительных масел Эртильский», ОАО «Литейно-механический завод», ОАО «Эртильское АТП».

Четвёртая и пятая пробные площадки заложены в городе Эртиль. Площадки находятся в непосредственной близости от предприятий ОАО «Эртильский сахар», ОАО «Эртильский литейно-механический завод», МУП «Эртильское коммунальное хозяйство» и ОАО «Эртильский АТП».

Шестая площадка заложена в лесном массиве урочище Шелюга вдоль трассы «Курск-Борисоглебск-Панино-Эртиль» на удалении 10 метров от полотна дороги, но находится на большом расстоянии (25 км) от воздействия предприятий Эртильского района.

Седьмая площадка заложена в условно чистой зоне на территории села Борщевские Пески Эртильского района Воронежской области, на расстоянии 30 км от техногенного давления предприятий [11].

На каждой пробной площадке выбирались одновозрастные модельные деревья *Pinus sylvestris* L. по 10 модельных деревьев. Материалом для исследования послужили вегетативные побеги первого порядка первого года жизни, собранные в средней части кроны в конце вегетационного периода, с каждого модельного дерева по 10 побегов. Оценивались такие показатели хвои: длина, ширина, высота хвоинки, срок жизни, и площадь пораженных участков. Так же учитывалась длина, диаметр годичных побегов и их охвоенность. На микропрепаратах хвои изучали количество смоляных ходов, особенности их заложения, протяженность тканей и их процентное содержание. Срезы делались в средней части хвоинки, материал предварительно фиксировался в 70% спирте, исследования проводились по стандартным ботаническим методикам.

В работе использовался тринокулярный микроскоп Levenhuk MED 20T и окулярная видеокамера Levenhuk M 35 BASE. Статистическая обработка результатов выполнена с использованием пакета анализа данных Microsoft Excel 2010. Обоснование существенности различий исследуемых параметров выполнено с использованием параметрических тестов (критерий Стьюдента).

Прирост побегов в длину в условно чистой зоне составляет около 23 см, что совпадает со средними показателями по другим регионам в целом. Минимальный прирост дают побеги растений, произрастающих в непосредственной близости от автомобильной магистрали, он составляет 16,8 см, что на 30 % меньше контроля. Близкие показатели к контрольным у растений со второй ПП. За рост побегов отвечает верхушечная меристема, которая у хвойных отличается высокой чувствительностью к загрязнениям, так же, как и боковые меристемы стебля. Прирост стебля в толщину сокращается почти на 1/3, а точнее на 28 %. Угнетение показывают растения всех ПП, находящихся под воздействием промышленных токсикантов, не зависимо от удаленности их от источника загрязнения. В связи с сокращением прироста уменьшается количество хвои, расположенной на побеге, это может приводить к снижению интенсивности фотосинтеза.

Нами была проанализирована охвоенность годичных побегов, которая в нашей модификации представляет собой количество хвоинок на длину годичного побега. Как показывают исследования хвойных растений — это довольно вариабельный признак. Он зависит от целого ряда факторов: климатических условий, возраста и полноты развития исследуемых особей, возраста изучаемых побегов, географического положения модельных деревьев. Поскольку условия наших исследований выровнены, то мы считаем его показательным и информативным. В загрязненной зоне охвоенность годичного побега на 20 % меньше по сравнению с контролем. Если сравнить сокращение прироста и сокращение охвоенности (30 % и 20 % соответственно), можно сказать, что расположение брахибластов под влиянием поллютантов более частое по сравнению с контролем. Дефолиация на побегах первого года жизни наблюдается на изучаемых ПП крайне редко, если такие процессы и отмечены они идут на побегах начиная с третьего года жизни, средняя продолжительность жизни хвои составляет 3 года. В условиях полного благополучия возраст хвои может достигать 5–8-летнего возраста. На исследуемых площадках наибольшая продолжительность жизни 3,7 лет в среднем, при максимальном значении 5 лет и минимальном значении 2 года.

Параметры хвои в условиях загрязнения как правило сокращаются, однако данные по влиянию отдельных веществ и соединений на ростовые процессы весьма противоречивы. Вместе с этим, сосне свойственен большой полиморфизм данных признаков, который до сих пор слабо изучен. В большинстве случаев авторы соглашаются, что размеры хвои первого года жизни больше, чем второго, поврежденные участки хвои увеличиваются с возрастом, возраст хвои на загрязненных территориях уменьшается. Наши исследования показывают, что на загрязненных участках длина хвоинок первого года

жизни сокращается на 14 мм по сравнению с контролем, что составляет 25 %, то есть четверть длины. Как правило в прямой зависимости от сокращения длины хвоинок находится и сокращение их высоты и ширины, а, следовательно, и площади.

Процент поврежденной хвои составляет от 22 до 38 %, при этом мы учитывали хвою различных классов повреждения. В основном это точечные некрозы, которые соответствуют 2 классу повреждений. Хвоя, имеющая пятнистые некрозы, соответствующая 3 классу повреждений встречается реже и характерна в основном для побегов 2 и 3 года жизни. Так же повреждения 3 класса характерны для ослабленных особей, которые встречаются на всех пробных площадях. В этом случае играет роль индивидуальная устойчивость отдельных особей. Надо отметить, что на 4, 5 и 6 ПП встречаются растения, пораженные различными заболеваниями грибковой и вирусной природы, процент поврежденных особей больше чем на 1 и 7 площадках.

Если говорить о классах усыхания, то встречается хвоя 3 и 4 класса усыхания, однако процент такой хвои невелик и составляет 2 % в контроле, на загрязненных территориях — 3 %. Явления усыхания могут быть связаны с естественными процессами и климатическими условиями (см. таблицу 1, 2).

Таблица 1. Морфометрические показатели побегов *Pinus sylvestris*

№ ПП	Продолжительность жизни хвои, лет	Процент пораженной хвои %	Охвоенность, шт.	Прирост побега, см	Диаметр побега, см
1	3,7	24	42,31±0,35	22,64±0,22*	0,46±0,02
2	3,1	32	38,90±0,42***	19,23±0,21***	0,40±0,02*
3	3,1	33	38,72±0,34***	18,08±0,25***	0,38±0,03*
4	2,9	37	36,04±0,42***	17,82±0,19***	0,38±0,02**
5	3,0	34	35,35±0,41***	16,76±0,19***	0,37±0,02**
6	2,9	38	35,22±0,37***	16,81±0,13***	0,36±0,03**
7	3,7	22	43,13±0,44	23,32±0,20	0,50±0,04

Примечание: \* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001 (по отношению к контролю)

Таким образом, морфометрические показатели позволяют нам сделать предварительный вывод об уровне загрязнения исследуемых территорий. Вторая и третья пробные площадки, находящиеся в смешанных посадках на территории г. Эртиль, показывают средний уровень загрязненности. Наиболее серьезные изменения

Таблица 2.

Морфометрические показатели хвои *Pinus sylvestris*

№ ПП	Длина хвои, мм	Ширина хвои, мм	Высота хвои, мм
1	57,72±0,31	1,63±0,02	0,721±0,012
2	49,43±0,36***	1,55±0,03*	0,589±0,020**
3	49,06±0,40***	1,43±0,01***	0,610±0,014**
4	43,75±0,39***	1,40±0,02***	0,624±0,012**
5	43,58±0,38***	1,39±0,10*	0,613±0,016**
6	42,37±0,44***	1,33±0,09**	0,592±0,021**
7	57,91±0,30	1,65±0,03	0,701±0,025

Примечание: \* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001 (по отношению к контролю)

происходят на территории 4, 5 и 6 пробных площадок. Четвертая и пятая находятся в непосредственной близости от литейно-механического завода, шестая вблизи автомагистрали. Можно предположить, что уровень техногенной нагрузки здесь примерно одинаков. Первая пробная площадка характеризуется незначительными повреждениями хвои и практически неизменными показателями морфометрических параметров хвои и годичных побегов.

Изучение анатомического строения хвои в зоне загрязнения показывает уменьшение параметров эпидермы и гиподермы, по сравнению с контролем. На сильно поврежденной хвое можно проследить образование некрозов. Некроз затрагивает на начальных стадиях покровные ткани, а потом углубляется в мезофилл, вплоть до главной жилки (см. рисунок 1). Анализируя процентное содержание покровных тканей, можно сделать вывод, что оно практически не меняется. Варьирует только процентное содержание мезофилла и тканей главной жилки.

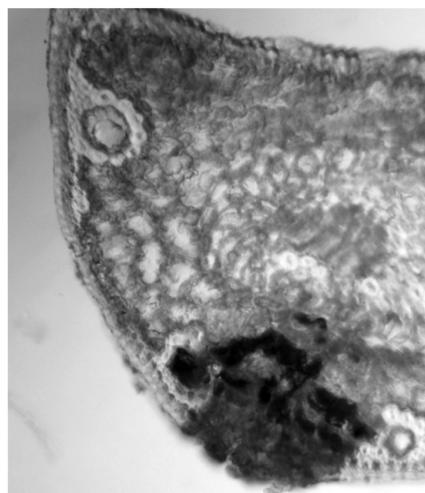


Рис. 1. Некротический участок на нижней стороне хвоинки (Увелич. 200)

Проводящая система сосны представлена двумя коллатеральными пучками, расположенными в центре под углом один к другому. Диаметр жилки уменьшается в 1,6 раз в зоне загрязнения. Загрязнители оказывают влияние на процессы фотосинтеза и транспирации, что в итоге изменяет весь ход метаболизма в хвое. В самой жилке, на загрязненных пробных площадках, уменьшается доля трансфузионной ткани и увеличивается объем тяжа склеренхимы.

Количество смоляных ходов является очень важным показателем для мониторинга уровня загрязнения. Хвоинка сосны обычно имеет 12–14 смоляных ходов, 6–8 из которых находятся на ее верхней стороне. У исследованных растений наблюдается уменьшение площади смоляных ходов, крайним вариантом является их некротизация, которая происходит из-за нарушения целостности клеток и тканей. На срезах смоляные ходы выглядят забитыми продуктами жизнедеятельности, видны отмирающие эпителиальные клетки (см. рисунок 2). Наиболее ярко реагируют смоляные ходы верхней стороны хвоинки. В зоне загрязнения ходы могут отсутствовать вообще или их количество сокращается до 1–2. Редукция смоляного хода может выражаться в появлении поражения на поверхности самой хвоинки, видимого невооруженным глазом. Редукция смолоносной системы наблюдается и на нижней стороне хвои. Это выражается в сокращении числа ходов, отсутствии отдельных структур и развитии на их месте тяжелой склеренхимы (см. рисунок 3).



Рис. 2. Смоляные ходы хвоинки, заполненные секретом (Увелич. 200)

В некоторых случаях склеренхимная обкладка на оставшихся ходах значительно усиливается. На отдельных микропрепаратах наблюдается нарушение ориентации заложения ходов, и они уходят в толщу мезофилла (см. рисунок 4). Иногда происходит сближение ходов, и они оказываются очень близко друг к другу (см. рисунок 5).

С уменьшением линейных размеров хвоинки умень-

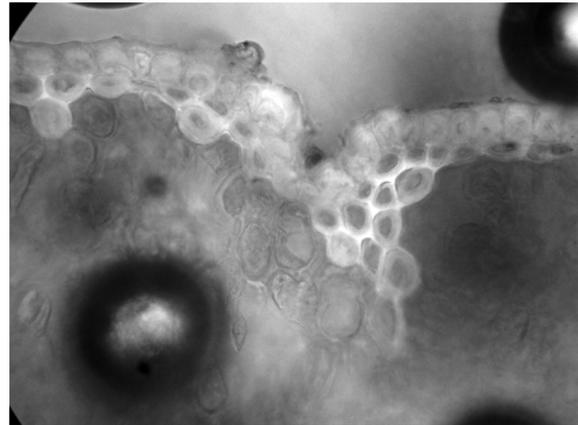


Рис. 3. Редукция смоляного хода в хвоинке (Увелич. 400)

шается протяженность эпидермы и гиподермы. Уменьшается площадь поперечного сечения хвоинки и главной жилки. Изменения достоверны по отношению к контролю. Сокращение количества смоляных ходов на разных площадках достоверных изменений не показывает, однако отмечены отдельные особи сосны, характеризующиеся значительными качественными и количественными перестройками, очевидно в данном случае большую роль играет индивидуальная устойчивость отдельных растений по отношению к негативным воздействиям (см. таблицу 3, 4).

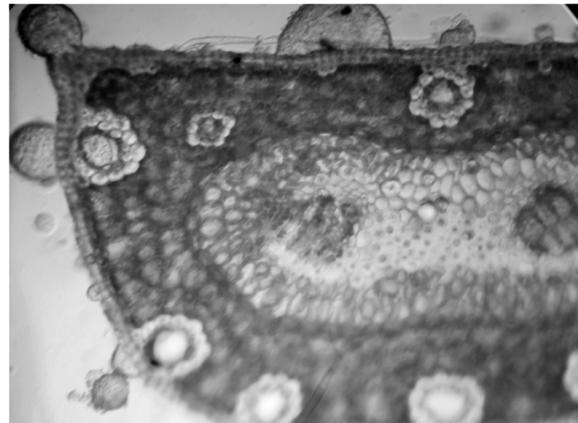


Рис. 4. Смоляной ход, погруженный в толщу мезофилла (Увелич. 200)

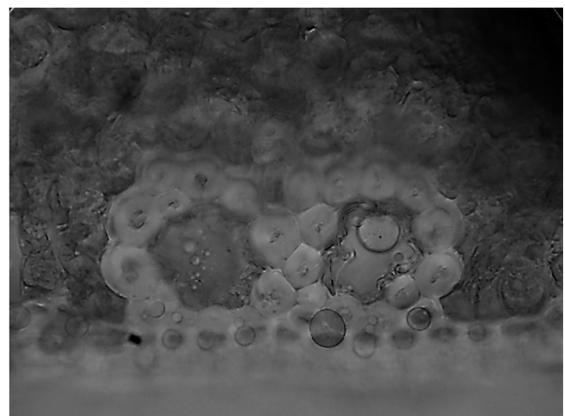


Рис. 5. Удвоение смоляных ходов в хвоинке (Увелич. 400)

Таблица 3.  
Анатомические показатели хвои *Pinus sylvestris*

№ ПП	Толщина эпидермы, мкм	Толщина гиподермы, мкм	Площадь поперечного сечения хвоинки, мм <sup>2</sup>	Площадь поперечного сечения главной жилки, мм <sup>2</sup>
1	16,01±0,22	11,87±0,36	0,99±0,03**	0,40±0,03**
2	14,99±0,35*	10,15±0,42**	0,76±0,03***	0,33±0,02***
3	14,23±0,27***	9,07±0,38***	0,68±0,02***	0,35±0,01***
4	13,57±0,45***	9,13±0,44***	0,54±0,02***	0,33±0,01***
5	14,02±0,41***	10,12±0,33**	0,68±0,02***	0,39±0,02***
6	15,68±0,27	12,06±0,54	1,01±0,02*	0,41±0,02**
7	16,00±0,34	12,00±0,40	1,09±0,02	0,53±0,03

Примечание: \* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001 (по отношению к контролю)

Таблица 4.  
Показатели смоляных ходов хвои *Pinus sylvestris*

№ ПП	Количество смоляных ходов, шт.	Диаметр смоляных ходов, мкм
1	11,23±2,57	98,15±10,64
2	10,12±2,08	68,19±10,88*
3	9,98±2,17	72,45±12,24*

№ ПП	Количество смоляных ходов, шт.	Диаметр смоляных ходов, мкм
4	8,54±3,01	72,37±11,88*
5	8,94±2,67	78,61±10,11*
6	9,25±2,94	80,28±10,72*
7	12,60±3,20	117,87±18,93

Примечание: \* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001 (по отношению к контролю)

Воздействие выбросов промышленных предприятий и автотранспорта на вегетативные органы сосны обыкновенной проявляется в изменении количественных и качественных параметров стебля и хвои. Хвоя годичных побегов уменьшается в размерах, в сторону уменьшения протяженности изменяются параметры тканей, складывающихся лист. Наблюдаются нарушения в смоляной системе, что отражается в сокращении числа смоляных ходов, их некротизации, погружении глубоко в ткань мезофилла, удвоении и близком расположении отдельных ходов. В главной жилке отмечено увеличение доли склеренхимы, сближение между собой проводящих пучков и изменение формы жилки на поперечном срезе с овальной на более округлую. В стебле отмечается угнетение деятельности верхушечных и боковых меристем, что выражается в сокращении прироста.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Соболева С.В., Есякова О.А., Воронин В.М. Оценка аэрогенного загрязнения с использованием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели сибирской (*Picea obovate* L.) // Хвойные бореальной зоны. — 2020. — Т. 38. — № 3–4. — С. 115–122.
- Ярмишко В.Т., Игнатъева О.В. Сообщества *Pinus sylvestris* L. в техногенной среде на Европейском Севере России: структура, особенности роста, состояние // Сибирский лесной журнал. — 2021. — № 3. — С. 44–55.
- Соболева С.В. Изучение биоиндикационной способности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в условиях светлохвойной тайги / С.В. Соболева, В.М. Воронин, И.С. Почечутов // Хвойные бореальной зоны. — 2018. — Т. 36, № 1. — С. 108–114.
- Михайлова Т.А. Мониторинг техногенного загрязнения и состояния сосновых лесов на примере Иркутской области / Т.А. Михайлова, О.В. Калугина, О.В. Шергина // Лесоведение. — 2020. — № 3. — С. 265–273.
- Цепордей И.С. Увеличение охвоенности побегов в широтном градиенте как компенсаторная реакция сосны обыкновенной на снижение суммы эффективных температур / И.С. Цепордей // Сибирский лесной журнал. — 2024. — № 2. — С. 68–73.
- Плюснина С.Н. Структура хвои сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl и сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах / С.Н. Плюснина, А.Л. Федорков, Р.Г. Гуляев // Лесной вестник. Forestry Bulletin. — 2024. — Т. 28, № 1. — С. 46–55.
- Хох А.Н. Влияние антропогенного загрязнения на морфолого-анатомические параметры и спектральные характеристики хвои сосны обыкновенной / А.Н. Хох, В.Б. Звягинцев // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. — 2021. — № 1(37). — С. 69–80.
- Тужилкина В.В. Структурно-функциональные изменения хвои сосны в условиях аэротехногенного загрязнения / В.В. Тужилкина, С.Н. Плюснина // Лесоведение. — 2020. — № 6. — С. 537–547.
- Плюснина С.Н. Структурно-функциональная характеристика фотосинтетического аппарата подроста *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в подзоне средней тайги европейского Северо-Востока / С.Н. Плюснина, В.В. Тужилкина // Ботанический журнал. — 2021. — Т. 106, № 11. — С. 1072–1084.
- Морфолого-анатомические характеристики и пигментный состав хвои сосны обыкновенной в зеленых насаждениях Г. Красноярск / В.В. Стасова, Л.Н. Скрипальщикова, Н.В. Астраханцева, А.П. Барченков // Сибирский лесной журнал. — 2022. — № 2. — С. 3–10.
- Дрожжина В.Н. Изменение параметров генеративных органов *Pinus sylvestris* L. в условиях техногенного загрязнения / В.Н. Дрожжина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2023. — № 4–2. — С. 13–18.

# АКТИВНОСТЬ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ, КАТАЛАЗЫ И ПЕРОКСИДАЗЫ ПАСТУШЬЕЙ СУМКИ ОБЫКНОВЕННОЙ (CAPSELLA BURSA-PASTORIS (L.) MEDIK) В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ЭКОТОКСИКАНТОВ — ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ

**Осинкина Татьяна Владимировна**

кандидат биологических наук, доцент, Оренбургский государственный медицинский университет  
osinkina12@mail.ru

## ACTIVITIES OF SUPEROXIDE DISMUTASE, CATALASE AND PEROXIDASE OF COMMON SHEPHERD'S PURSE (CAPSELLA BURSA-PASTORIS (L.) MEDIK) UNDER INFLUENCE OF ECOTOXICANTS — POLYCHLORINATED BIPHENYLS

**T. Osinkina**

*Summary.* The article is the result of the study of the role of environmental factors of chemical nature within the framework of a model ecosystem to assess the effect of polychlorinated biphenyls on the activity level of antioxidant enzymes — superoxide dismutase, catalase, and peroxidase of shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) as a medicinal plant with a short growing season. The material of the study was sprouts, developed leaf blades, flowers and forming seeds. The activity of superoxide dismutase was determined by direct spectrophotometry, peroxidase — photoelectrocolorimetrically, catalase — permanganatometry. In response to the action of the environmental factor — polychlorinated biphenyls, it was shown that throughout the growing season there was an increase in the activity of SOD and peroxidase enzymes: for SOD at the flowering stage by 10 times with a small «jump» in activity under the primary action of PCBs (0.0005 mg / l) compared to the control. In the case of peroxidase, at the minimum concentration of PCBs in sprouts, an increase of 1.6 times was noted, however, during vegetation, a decrease of 10 times was noted, during the flowering period — 15 times. Thus, for the enzyme's superoxide dismutase and catalase of shepherd's purse, the phenomenon of «paradoxical dependence «dose-effect»» was established under the influence of PCBs in a minimum concentration (0.0005 mg / l) at the MAC level. The nature of the change in peroxidase activity under the minimum (stimulating) and maximum (inhibiting) effects of PCBs in a short period of time, made it possible to assume the probable existence of a peroxidase isoform in shepherd's purse that is resistant to the action of environmental toxicants of organic nature and promotes the adaptation of the plant to changing environmental conditions with the growth of anthropogenic impact on natural ecotopes and phytocenoses.

*Keywords:* environmental factors, model ecosystem, phytocenoses, catalase, peroxidase, superoxide dismutase, shepherd's purse, polychlorinated biphenyls, ecotoxikants, ecotopes.

*Аннотация.* Статья является результатом исследования роли экологических факторов химической природы в рамках модельной экосистемы по оценке влияния полихлорированных бифенилов на уровень активности антиоксидантных ферментов — супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы пастушьей сумки обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) как растения с коротким периодом вегетации. Материалом исследования являлись проростки, развившиеся листовые пластинки, цветы и формирующиеся семена. Активность супероксиддисмутазы определяли прямой спектрофотометрией, пероксидазы — фотоэлектроколориметрически, каталазы — перманганатометрией. В ответ на действие экологического фактора — полихлорированных бифенилов, показано, что на протяжении всего периода вегетации наблюдался рост активности ферментов СОД и пероксидазы: для СОД на этапе цветения в 10 раз с небольшим «скачком» активности при первичном действии ПХБ (0,0005 мг/л) в сравнении с контролем. В случае пероксидазы при минимальной концентрации ПХБ в проростках отмечен рост в 1,6 раза, однако при вегетации отмечено снижение показателя в 10 раз, в период цветения в 15 раз. Таким образом, для ферментов супероксиддисмутазы и каталазы пастушьей сумки обыкновенной установлено явление «парадоксальной зависимости «доза-эффект»» при воздействии ПХБ в минимальной концентрации (0,0005 мг/л) на уровне ПДК. Характер изменения пероксидазной активности при минимальном (стимулирующем) и максимальном (ингибирующем) воздействии ПХБ в короткий период времени, позволил предположить вероятное существование у пастушьей сумки обыкновенной изоформы пероксидазы, устойчивой к действию экологических токсикантов органической природы и способствующей адаптации растения к меняющимся экологическим условиям при росте антропогенного влияния на природные экотопы и фитоценозы.

*Ключевые слова:* экологические факторы, модельная экосистема, фитоценозы, каталаза, пероксидаза, супероксиддисмутазы, пастушья сумка обыкновенная, полихлорированные бифенилы, экотоксиканты, экотопы.

## Актуальность

Наземные растения, формирующие фитоценозы в природных экосистемах, в условиях усиливающегося антропогенного воздействия на природные ландшафты, являются достаточно уязвимой группой живых организмов для влияния токсикантов различного происхождения. Особенно чувствительны высшие фотосинтезирующие растения к пыле-дымовым мелкодисперсным компонентам смогов, которые периодически накрывают лесные, луговые массивы по линии перемещения главенствующих воздушных масс и расположенные на пути основных направлений ветра [3, с. 44; 8, с. 264]. Также растительные организмы чувствительны к влиянию токсинов органической природы. Которые поступают преимущественно через почвенные горизонты из размытых терриконов, складированных отходов промышленности и твердых или жидких бытовых отходов. Опасность органических загрязняющих компонентов заключается в ряде особенностей их химической и биологической природы [10, с. 49]. Среди параметров следует выделить повышенное сродство к билипидному слою мембран клеток, в частности, растений, так как они относятся к прикрепленным жизненным формам и поглощают большую часть токсинов по причине неспособности к перемещению от эпицентра выброса или основного движения водных или воздушных масс, несущих загрязнитель [4, с. 890; 6, с. 214]. При этом существенно то, что в случае растений увеличивается время контакта среды, несущей токсины, со значительной площадью поверхности организма. Происходит усиление проникновения ксенобиотика и аккумуляция в нем [5, с. 145]. Особо выраженный токсический эффект в данных случаях оказывают органические соединения, обладающие подвижными, химически активными группами, содержащими анионы хлора (Cl), гидроксогруппы (-OH), пероксидные радикалы (ROO) [11, с. 418]. К первой группе, включающие хлор, относятся полихлорированные бифенилы, содержащие атомы хлора в положениях 2, 4, 6 бензольных колец. Влияние подобных соединений чаще всего отражается на состоянии фотосинтезирующего аппарата растений [1, с. 42]. Приводит их к кислородному голоданию с одной стороны и нарушению функций антиоксидантных ферментативных систем с другой [9, с. 125]. Так как в подобных случаях активные центры основных антиоксидантных ферментов супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы, подвергаясь влиянию ПХБ, меняют конформацию апофермента (белковой части) и теряют способность связывать и обезвреживать активные радикалы кислорода и перекиси.

Пастушья сумка обыкновенная — растение с коротким периодом вегетации и цветения, продолжительность жизни от всходов семян до их созревания составляет около 1–1,5 месяцев. Однако семена быстро созревают и способны к всходам в том же году, что позволяет ре-

гистрировать залповые выбросы токсикантов на ключевых стадиях развития растения. Пастушья сумка также источник биологически активных соединений, содержит филлохинон (витамин K<sub>1</sub>), флавоноиды, сесквилангеновые и фенольные гликозиды, дубильные вещества, рамногликозид гиссолина, биогенные амины (холин, ацетилхолин), тирамин, инозит, соли калия (в золе до 40 %), в летучей фракции — пальмитиновая (284,54 мг/100г), линолевая (157,14 мг/100 г) кислоты. Пастушья сумка относится к фармакопейным видам, группе К-витаминное, гемостатическое средство, представляет большой интерес для клинической и фармацевтической практики как калий содержащее растение. В связи с достаточно широкой распространенностью, значением для экологии, медицины и фармации, экологической толерантностью пастушья сумки обыкновенной в условиях техногенного воздействия на природные фитоценозы, представилось актуальным исследовать активность супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы пастушья сумки обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) в условиях влияния экотоксикантов — полихлорированных бифенилов в модельной экосистеме.

## Материалы и методы исследования

Материал исследования — 3–4-дневные проростки, неповрежденные развившиеся листовые пластинки во время вегетации, цветки и молодые семена пастушья сумки обыкновенной. Растения выращивались в контейнерах с почвой, предназначенной для цветочных культур в течение двух месяцев. В течение этого времени с определенной периодичностью (проростки, вегетация и цветение) растения подвергались воздействию раствора «Совол» (смесь полихлорированных бифенилов) в концентрациях 0,0005 мг/л, 0,001 мг/л, 0,0012 мг/л — полив однократно. Контрольные образцы растений поливали отстоянной водопроводной водой.

Активность супероксиддисмутазы определяли методом, основанном на способности СОД ингибировать аутоокисление адреналина в адrenoхром щелочной среде. Процент ингибирования вычисляли по формуле:

$$A(\%) = \frac{(E_k - E_o) \times 100}{E_k}$$

Где А — активность фермента, %;

E<sub>k</sub> — экстинкция контроля;

E<sub>o</sub> — экстинкция опыта.

Активность каталазы определяли методом перманганатометрии. Активность фермента рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{(K - O) \times 0,85 \times E}{T}$$

К — количество  $KMnO_4$ , пошедшего на титрование в контроле, мл;

О — количество  $KMnO_4$ , пошедшего на титрование в опыте, мл;

0,85 — количество мл  $H_2O_2$ , соответствующее 1 мл 0,05н  $KMnO_4$ ;

T — время инкубации (10мин);

E — разведение [7, с. 120].

Фотоэлектроколориметрический метод определения активности пероксидазы основан на изменении времени, за которое опытный раствор достигнет определенной оптической плотности. В качестве субстрата использовался бензидин, в результате окисления которого образовывались продукты реакции синего цвета.

Навеску растительного материала (50–100 мг) растирали в ступке с водой, переносили в мерную колбу на 25 мл и доводили дистиллированной водой до метки. Растительную вытяжку настаивали в течение 5–10 мин, затем центрифугировали в течение 10 мин при 3000 об./мин. Надосадочную жидкость использовали для определения пероксидазной активности. Для определения активности фермента брали две кюветы толщиной 1 см. По контрольной кювете устанавливали ноль прибора, предварительно заполнив ее 2 мл бензидина, 2 мл фильтрата и 2 мл воды. Во вторую опытную кювету вливали 2 мл бензидина, 2 мл фильтрата и 2 мл 0,3 %-ного раствора перекиси водорода, при этом сильная струя перекиси перемешивала содержимое кюветы. Добавление перекиси служило стартом реакции. Одновременно с вливанием пероксида водорода включали секундомер. В опытной кювете раствор синел, стрелка прибора передвигалась справа налево. Отмечали время, за которое стрелка достигнет 0,2 делений прибора

(единицы оптической плотности). Активность пероксидазы рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{D \times E}{t \times d}$$

D — оптическая плотность (0,1–0,2);

E — разведение (пересчет на 1 г сырой массы);

t — время, с.

d — толщина слоя жидкости, толщина кюветы (1 см) [2, с. 677].

### Результаты и обсуждение

В результате анализа установлено, что активность СОД растет по мере роста пастушьей сумки и к моменту цветения увеличивается от 0,24 % в 2,4 раза, т.е. в 10 раз (рис. 1). Небольшой скачок активности СОД в 1,4 раза зафиксирован при первичном воздействии ПХБ (0,0005 мг/л), далее при повышении концентраций ПХБ шло снижение активности, однако в целом уровень её оставался высоким. Пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) — растение с коротким периодом вегетации. В связи с этим обменные процессы протекают от всходов до цветения всего в течение около 1–1,5 месяцев и активность основных групп ферментов возрастает значительно к периоду цветения. В случае СОД пастушьей сумки рассмотрение линий тренда четко отражает динамику изменения активности фермента. Наиболее выраженная и стабильная активность СОД по линии тренда видна в период вегетации. Линейный характер графика в данном случае наиболее надежный, поскольку величина достоверности аппроксимации находится близко к 1 (0,7591) — происходит рост активности фермента так как протекает активный фотосинтез, сопровождающийся выделением значительных

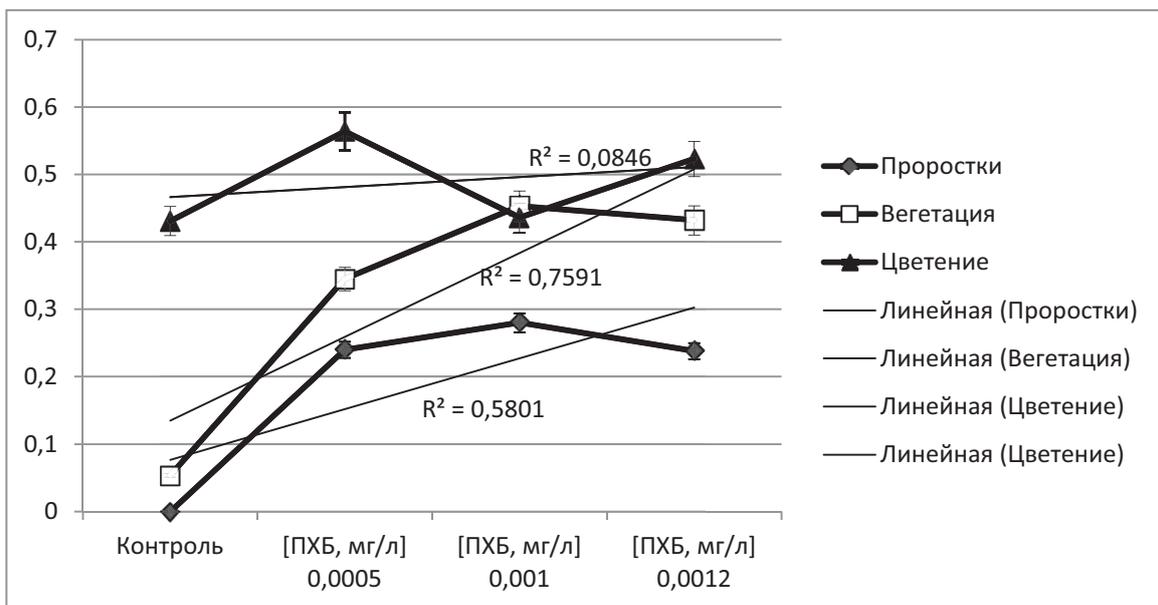


Рис. 1. Активность супероксиддисмутазы (ед. А, %) пастушьей сумки обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik)

количеств молекулярного кислорода и, соответственно, неизбежным образованием супероксидного анион-радикала  $\cdot O_2^-$ . Таким образом, процессы эти ведут к росту концентрации субстрата для СОД — в ответ увеличивается количество и активность продуцируемого фермента.

На этапе проростков устойчивая тенденция к росту активности СОД — линия тренда линейно растет, но менее выражено, чем во время вегетации (рис. 1): величина аппроксимации в целом стремится к 1 (0,5801). Для периода цветения стабильно высокий устойчивый уровень СОД в сравнении с остальными периодами подтверждается малой величиной аппроксимации отличной от 1 (0,0846).

Характер динамики активности каталазы пастушьей сумки обыкновенной отличался во все периоды опреде-

лений: показатель снижался в сравнении с контролем. В фазе проростков в 1,6 раза, на стадии вегетации и цветения в 1,7 раза (рис. 2).

В отношении пероксидазы (рис. 3) пастушьей сумки во все три этапа исследования отмечено устойчивое резкое повышение активности фермента при минимальной концентрации ПХБ в проростках в 1,6 раза, при вегетации снижение показателя в 10 раз, в период цветения в 15 раз.

«Встреча» растения с токсикантами впервые вызывает активацию защитных механизмов и ферменты в растениях с коротким периодом вегетации синтезируются значительно быстрее, чем у растений с длинным периодом наращивания фотосинтезирующей массы. В этом случае, по-видимому, есть основания предполагать

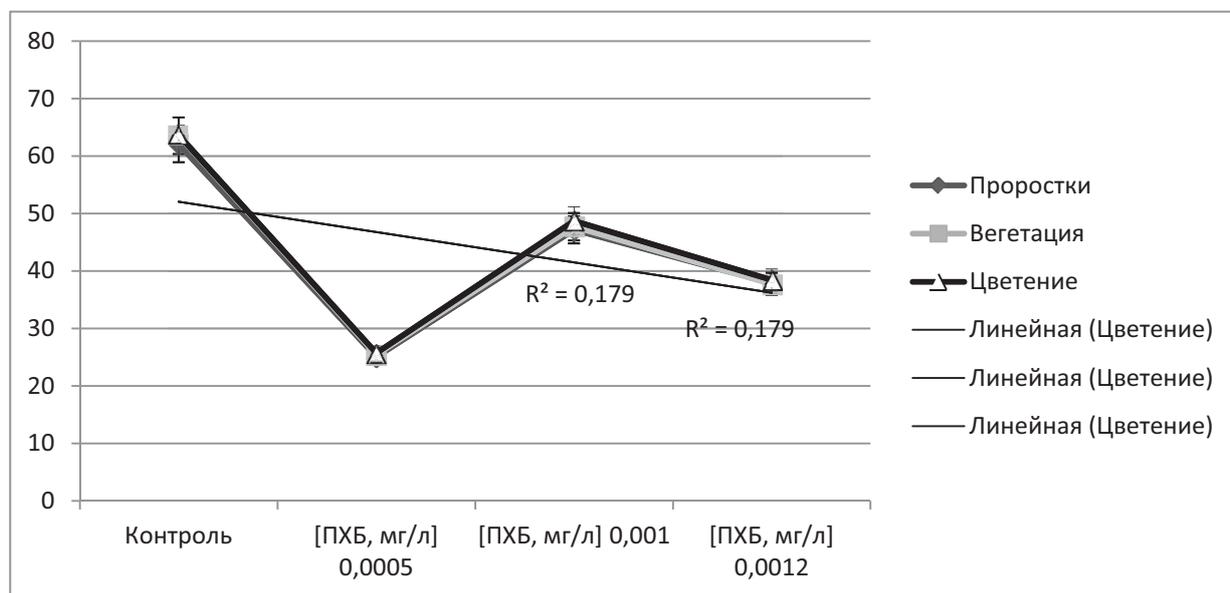


Рис. 2. Активность каталазы (мл  $O_2$  / гхмин) пастушьей сумки обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik)

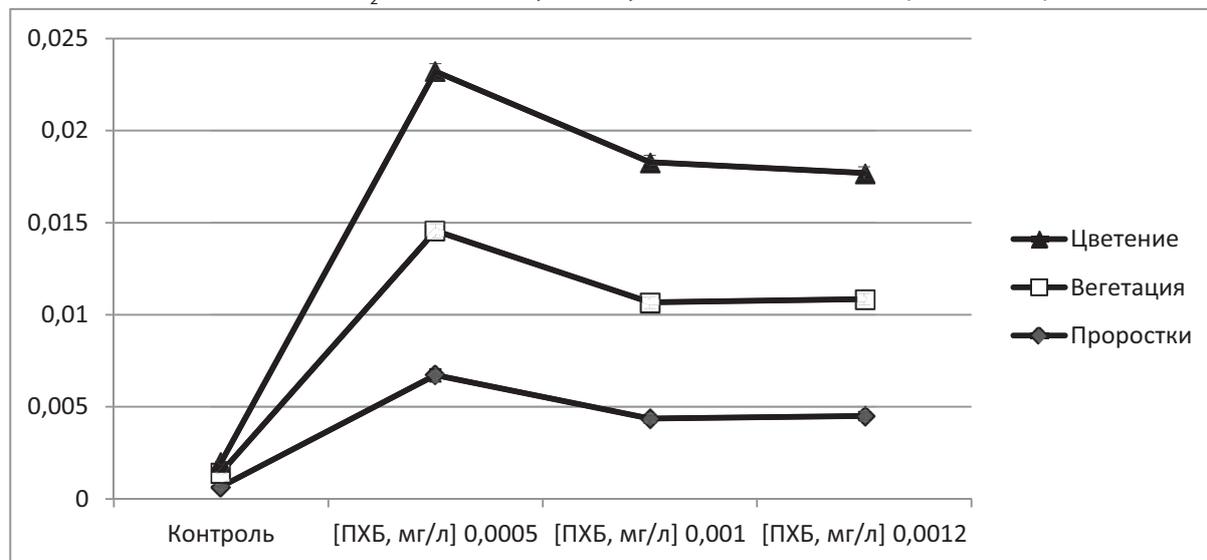


Рис. 3. Активность пероксидазы ( $\Delta D_{670}$  / гхс) пастушьей сумки обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik)

большую чувствительность и реакционно способность ферментов из семейства пероксидаз в организме растений с меньшим периодом вегетации и ранним сроком созревания семян. В целом активность пероксидазы пастушьей сумки варьировала в пределах от 0,00056 до 0,00864  $\Delta D_{670}$ /гхс во время цветения. Значительное варьирование показателя активности, когда минимальные и максимальные значения находятся в пределах одного возраста растения, указывает на высокую чувствительность и выраженное реагирование ферментной системы растений на токсиканты органической природы в данном случае — полихлорированные бифенилы в условиях повышения антропогенного воздействия на фитоценозы через загрязнения верхних горизонтов экотопов органическими экотоксикантами.

### Заключение

Таким образом, в ходе исследования воздействия экологических факторов химической природы на растения в модельной экосистеме, получены следующие результаты:

1. Установлена неодинаковая реакция группы защитных антиоксидантных ферментов — супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы пастушьей сумки обыкновенной на минимальные концентрации органических эко токсикантов ПХБ (0,0005 мг/л) на уровне ПДК для вод водно-питьевого и культурно-бытового водопользования;

2. Для ферментов супероксиддисмутазы и пероксидазы пастушьей сумки обыкновенной зафиксировано явление «парадоксальной зависимости «доза-эффект»» при воздействии ПХБ в минимальной концентрации (0,0005 мг/л) на уровне ПДК, что может отражать динамику экологической адаптации вида при изменении параметров среды обитания;
3. Наибольшая чувствительность, проявляющаяся быстрой реакцией к действию ПХБ даже на уровне минимальной концентрации эко токсиканта, показана в модельной экосистеме для пастушьей сумки обыкновенной как растения с коротким периодом вегетации (группа эфемеры);
4. В ответ на действие выраженного эко токсиканта характер изменения пероксидазной активности при минимальном (стимулирующем) и максимальном (ингибирующем) воздействии полихлорированных бифенилов в короткий период инкубации, позволил предположить вероятное существование у пастушьей сумки обыкновенной изоформы пероксидазы, более устойчивой к действию токсикантов органической природы. Появление подобной изоформы могло быть вызвано, вероятно, усиливающимся антропогенным воздействием на природные фитоценозы в составе экосистем и способствовало повышению адаптации пастушьей сумки к существованию в среде обитания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова Е.В. Временная изменчивость реакций растений в условиях хронического облучения: возможные подходы к оценке адаптации к абиотическому стрессу / Е.В. Антонова, Н.С. Шималина, В.Н. Позолотина // Трактория исследований — человек, природа, технологии. — 2022. — №1 (1) — С. 39–53.
2. Емельянов В.В. Активность каталазы и пероксидазы в растениях пшеницы и риса в условиях аноксии и постаноксической азрации / В.В. Емельянов, В.В. Ласточкин, Е.Г. Приказюк [и др.] // Физиология растений. — 2022. — Т. 69. — № 6. — С. 675–690
3. Жусупова Г.Е. Антиоксидантная активность некоторых препаратов, полученных на основе растений Казахстана / Г.Е. Жусупова, Т.М. Шалахметова, М.К. Мурзахметова [и др.] // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. — 2013. — № 5(15) — С. 43–65
4. Иванова К.А. Антиоксидантная система защиты в симбиотических клубеньках бобовых растений / К.А. Иванова, В.Е. Цыганов // Сельскохозяйственная биология. — 2017. — Т.52. — № 5 — С. 878–894.
5. Игнатенко А.А. Участие антиоксидантной системы в регуляции холодоустойчивости растений пшеницы и огурца салициловой кислотой и метилжасмонатом / А.А. Игнатенко — дисс. на соискание ученой степени канд. биол. наук. — Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН. — Санкт-Петербург, 2019. — 324 с.
6. Никерова К.М. Определение активности супероксиддисмутазы и полифенолоксидазы в древесине *Betula pendula* var. *Carelica* (*Betulaceae*) при разной степени нарушения ксилогенеза / К.М. Никерова, Н.А. Галибина, Ю.Л. Мощенская [и др.] // Растительные ресурсы. — 2019. — Т. 55. — № 2 — С. 213–230.
7. Никерова К.М. Участие каталазы и пероксидазы в процессах ксилогенеза у карельской березы / К.М. Никерова, Н.А. Галибина, Ю.Л. Мощенская [и др.] // Лесоведение. — 2019. — № 2. — С. 115–127.
8. Смагина Е.А. Результаты определения основных групп биологически активных веществ в листьях шиповника собачьего / Е.А. Смагина, Н.Н. Вдовенко-Мартынова // Беликовские чтения: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. — 2018. — С. 264–267
9. Станишевская И.Е. Контроль качества лекарственного сырья и фитопрепаратов валерианы лекарственной (*VALERIANA OFFICINALIS* L.) И.Е. Станишевская, А.И. Марахова, М.Ю. Грязнов [и др.] // Разработка и регистрация лекарственных средств. — 2015. — № 1(10) — С. 122–128
10. Филькин С.Ю. Использование рекомбинантных белков в современной пищевой биотехнологии: обзор предметного поля / С.Ю. Филькин, А.В. Липкин, А.Н. Федоров // Пищевая метаинженерия. — 2024. — Т.2. — № 2 — С. 48–74.
11. Шклярский М.А. Вовлечение нитратредуктазы и оксида азота в реализацию стресс-протекторного действия донора монооксида углерода на проростки пшеницы при гипертермии / М.А. Шклярский, Ю.Е. Колупаев, Ю.В. Карпец [и др.] // Физиология растений. — 2021. — Т. 68. — № 4. — С. 412–420.

© Осинкина Татьяна Владимировна (osinkina12@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОГО ДНЯ НА ПОВЕДЕНИЕ МЫШЕЙ *MUS MUSCULUS MOLOSSINUS L.*

## EFFECT OF DAYLIGHT LENGTH ON THE BEHAVIOR OF MICE *MUS MUSCULUS MOLOSSINUS L.*

**E. Fomicheva  
A. Poddubnaya**

**Summary.** The effect of daylight hours on the behavior of mice in an experiment using the open-field test and forced-swim test was researched. The features of the behavioral reactions of mice, their motor and exploratory activity, and their physical performance under different lighting conditions were studied. It was found that under desynchronization conditions, when exposing mice of the *Mus musculus L.* species to lighting conditions of 20 light/4 dark and 9 light/2 dark/9 light/4 dark, the psychoemotional state of the mice changes, which is expressed in a statistically significant decrease in the number of visits to the center, wall stands, and an increase in the number of grooming acts, defecation, and urination compared to the control group under lighting conditions of 12 light/12 dark. Evaluation of performance using the forced-swim test showed a decrease in the duration of active swimming, movements from wall to wall, and an increase in the duration of drifts under conditions of both long-term and intermittent dark deprivation. It was concluded that long-term dark deprivation, even considering the «break», leads to negative changes in the behavior of mice and is expressed in a decrease in performance, the appearance of a depressive-like state and disturbances in psychomotor activity.

**Keywords:** mice, behavior, desynchronization, dark deprivation, open-field test, forced-swim test.

**Фомичева Елена Михайловна**

кандидат биологических наук, доцент, Ярославский  
государственный университет им. П.Г. Демидова  
fomalyona@bk.ru

**Поддубная Алла Александровна**

Ярославский государственный  
университет им. П.Г. Демидова  
allapoddubnaya@gmail.com

**Аннотация.** Исследовано влияния длины светового дня на поведение мышей в эксперименте с использованием методик «Открытое поле» и «Принудительное плавание». Изучали особенности поведенческих реакций мышей, двигательную и исследовательскую активность, физическую работоспособность животных при разных режимах освещения. Выявлено, что в условиях десинхронизации при экспозиции мышей вида *Mus musculus L.* при режимах освещения 20 свет/4 темнота и 9 свет/2 темнота/9 свет/4 темнота изменяется психоэмоциональное состояние мышей, выражающееся в статистически значимом снижении количества посещений центра, пристеночных стоек и увеличении количества актов груминга, дефекации, мочеиспускания по сравнению с контрольной группой в условиях освещения 12 свет/12 темнота. Оценка работоспособности методом «Принудительное плавание» показала снижение длительности активного плавания, перемещений от стенки к стенке и повышении продолжительности дрейфов в условиях как длительной, так и прерывистой темновой депривации. Сделан вывод о том, что длительная темновая депривация даже с учетом «перерыва» приводит к негативным изменениям в поведении мышей и выражается в снижении работоспособности, появлении депрессивно-подобного состояния и нарушениям психомоторной деятельности.

**Ключевые слова:** мыши, поведение, десинхронизация, темновая депривация, принудительное плавание, открытое поле.

### Введение

В современном мире все большее внимание уделяется нарушению режимов сна и бодрствования за счет увеличения времени светлого периода суток искусственным путем. Нетрадиционные графики работы, трансмеридианные путешествия и другие факторы могут стать причиной нарушения циркадианных ритмов у человека. В настоящее время искусственное освещение можно отнести к нехимическим эндокринным разрушителям, влияющим на здоровье человека и животных, включая нарушение циркадного регулирования синтеза мелатонина, обмена веществ и может являться одним из факторов, влияющих на развитие раковых заболеваний [26]. Рассогласование внешних и внутренних регуляторов биологических ритмов может приводить к десинхронизации, проявляющемуся нарушением сна, снижением работоспособности, повышенной утомляемостью, на-

рушением психомоторной деятельности [5]. Такое рассогласование приводит к изменению различных физиологических и биохимических параметров организма, в частности к изменению содержания катехоламинов, показателей перекисного окисления липидов, к изменению в работе системы антиоксидантной защиты [15]. Изучение поведения мышей при темновой депривации с кратковременным прерыванием освещения модулирует возможность дополнительного отдыха и вероятность снижения последствий длительного десинхронизации.

Нарушение эндогенных биологических ритмов оказывает патологическое влияние на синтез гормонов, качество и структуру сна. Отмечается наличие корреляции между нарушением биологических ритмов и снижением продолжительности жизни, увеличением риска развития злокачественных заболеваний [12]. Благодаря изучению животных в условиях стресса, в частности при

нарушенном режиме освещения, возможно выявление наиболее значимых последствий для организма и поиск мер для их устранения, либо максимального снижения.

### Материалы и методы исследования

Для проведения эксперимента использовали аутбредных лабораторных мышей вида *Mus musculus molossinus* L. одномесячного возраста. Использование в качестве тест систем не линейных лабораторных животных часто применяется для оценки адаптогенной активности и фармакологических исследований [16]. До начала эксперимента все мыши находились в 7-дневном карантине в стандартных условиях освещения 12 часов свет/ 12 часов темнота. Подопытных животных содержали по 5–7 особей в стеклянных аквариумах размером 250x350x220 мм с крышкой из металлической сетки. Эксперимент был выполнен на 75 нелинейных белых мышах одного возраста. Все процедуры с животными проводились согласно правилам и рекомендациям гуманного обращения с животными, используемыми для экспериментальных и научных целей. Для создания экспериментальных групп, животных разделяли на две согласно принципу рандомизации выборок.

Особь находились в одинаковых условиях и при стандартном рационе питания. Для соблюдения выбранного варианта освещения аквариумы с мышами помещались в закрытые камеры с автоматически регулируемым режимом освещения. Контрольная группа содержалась при стандартном световом режиме 12 свет/12 темнота. В качестве исследуемых режимов освещения были выбраны два варианта светового режима для моделирования светового десинхроноза — 20 свет/4 темнота (далее 20C/4T) и 9 свет/2 темнота/9 свет/4 темнота (далее 9C/2T/9C/4T), при освещении лампами дневного света 750 лк в течение 28 суток.

Животные обеих групп подвергались тестированию по методикам «Открытое поле» и «Принудительное плавание». Оценка поведения проводили на 1, 7, 14 и 21 сутки экспозиции. Оценка ориентировочно-исследовательских реакций и психофизиологического теста ситуативной тревоги проводили с использованием метода «Открытое поле». Поведение животных отслеживали и записывали в течение 3 минут, оценивая горизонтальную и вертикальную активность (посещение центра поля, пристеночные и свободные стойки), груминг, дефекацию, мочеиспускание. Работоспособность и наличие депрессивно-подобного состояния животных оценивали в тесте «Принудительное плавание». Для этого мышей помещали в цилиндр с водой на 3 минуты и засекали на секундомере продолжительность активного плавания. Продолжительность плавания регистрировали секундомером с точностью до 1 с. Опыт проводили в цилиндре из прозрачного стекла (высо-

та 30 см, диаметр 20 см), заполненном водой на 15 см от дна. Фиксировали длительность активного плавания, количество перемещений от стенки к стенке цилиндра, число и продолжительности неподвижности (дрейфов). По продолжительности активного плавания оценивали работоспособность особей. Критерием полного утомления служили безуспешные попытки всплыть на поверхность, отказ от таких попыток либо опускание на дно (в опытной группе). Показатель «пассивное плавание» или «дрейф» использовали для регистрации депрессивно-подобного состояния.

Статистическая обработка результатов производилась с помощью программы «Statistica 6». Достоверность различий между группами определяли с помощью непараметрического критерия Манна — Уитни и критерия соответствия  $\chi^2$  Пирсона. Различия считались статистически значимыми при  $p \leq 0,05$ .

### Результаты исследования

Длительное искусственное освещение может приводить к нарушению поведенческой активности у животных, повышению уровня тревожности, нарушению ориентации в пространстве, снижению «долговременной памяти», изменению эмоционального статуса животных [6, 20]. При продолжительной световой депривации развивается световой десинхроноз, способный приводить к нарушению двигательных и когнитивных процессов у животных [3].

В контрольном варианте со стандартным режимом освещения 12C/12T в тесте «Открытое поле» преобладающими реакциями у животных были пристеночные стойки (48 %), посещение центра арены (16 %), свободные стойки (13 %), как проявление исследовательского поведения при внесении в новую обстановку (Рис. 1). Уровень эмоциональной реактивности может влиять на показатели животных [32]. В контрольной группе показатели эмоциональной реактивности или тревожности при помещении в тестовую среду составляли: активный груминг (13 %), осуществление актов мочеиспускания (4 %) и дефекации (8 %). На 21 сутки экспозиции соотношение поведенческих реакций у особей контрольной группы практически не отличается от первоначальной съемки данных ( $\chi^2=3,91, p \geq 0,05$ ). По-прежнему доминирующими оставались пристеночные стойки (35 %), при незначительном увеличении посещений центра (22 %) и свободных стоек (17 %) (Рис. 1) Однако количество пристеночных стоек на конец экспозиции по сравнению с первоначальными данными статистически значимо снижается ( $p=0,009532$ ).

Тестирование методом «Принудительное плавание» показало, что в контрольной группе средняя длительность активного плавания до первого дрейфа на 1 сутки

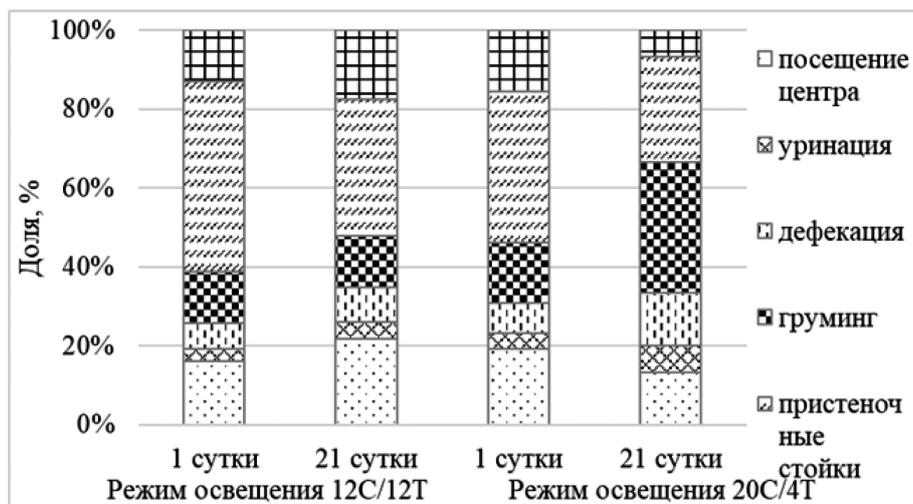


Рис. 1. Изменение показателей поведения мышей в тесте «Открытое поле» при режиме освещения 20С/4Т

экспозиции составляла  $66,2 \pm 10,4$  с, а в конце экспозиции на 21 сутки незначительно снижается  $60,4 \pm 8,4$  с ( $p=0,95$ ) Аналогичная динамика отмечена и для средней продолжительности пассивного плавания (дрейфов). Средняя продолжительность дрейфов на 1 сутки экспозиции составила  $18,7 \pm 1,6$  с, а в конце на 21 сутки  $17,8 \pm 1,1$  с. ( $p=0,58$ ).

В условиях темновой депривации у мышей опытной группы (режим освещения 20С/4Т) перед началом экспозиции отмечено сходное контрольному варианту соотношение типов поведенческих реакций ( $\chi^2=1.683$ ,  $p>0.05$ ), с преобладанием пристеночных стоек (39 %) и посещений центра (19%) (Рис. 1). Однако на 21 сутки оценка поведения особей при длительной экспозиции в условиях десинхроноза (Рис. 1) показала внутригрупповое (сравнение между 1 и 21 сутками) статистически значимое изменение ( $p<0,01$ ) в соотношении типов поведенческих реакций: преобладающей реакцией становится груминг (33 %), снижается количество пристеночных стоек (27 %), практически в 2 раза снижается количество свободных стоек (7 %) и посещений центра (13 %), с одновременным увеличением количества актов дефекации (13 %) и мочеиспускания (7 %). При этом выявлено статистически значимое снижение числа посещений центра ( $p=0,004$ ) и увеличении уринаций ( $p=0,03$ ).

Сравнение соотношения типов поведенческих реакций между контрольной и опытной группами (межгрупповое) на 21 сутки экспозиции также выявляет статистически значимые изменения ( $\chi^2=15.08$ ,  $p < 0,01$ ), выражающееся в смене доминирующих типов поведенческих реакций (Рис. 1), уменьшении частоты посещений центра и осуществлении актов уринации. Изменяются и показатели теста «Принудительное плавание»: отмечено снижение продолжительности активного плавания к 21 суткам экспозиции на 58 % ( $p=0,009$ ). Среднее время продолжительности дрейфов напротив, возрастало

по сравнению с начальными показателями на 42,9 % ( $p=0,013$ ). При сравнении показателей контрольной и опытной группы на 21 сутки экспозиции также выявлены межгрупповые статистически значимые отличия: увеличение средней продолжительности дрейфов ( $p=0,00016$ ), снижение длительности активного плавания до первого дрейфа ( $p=0,0001$ ), уменьшение числа перемещений особи от стенки к стенке ( $p=0,002$ ) (Таблица 1).

Таблица 1.

Изменение показателей тестирования мышей методом «Принудительное плавание» в условиях режима освещения 20С/4Т

Параметры	Режим освещения 12С/12Т	Режим освещения 20С/4Т
Длительность активного плавания, сек.	$60.4 \pm 8.4$	$25.3 \pm 3.6^*$
Число перемещений от стенки к стенке	$9.7 \pm 0.9$	$4.3 \pm 0.7^*$
Продолжительность дрейфов, сек	$17.8 \pm 1.1$	$30.3 \pm 3.1^*$
Число дрейфов	$3.7 \pm 0.4$	$8.3 \pm 0.9$

Примечание: достоверные отличия с показателем режима освещения 12С/12Т (контроль) ( $*p \leq 0,05$ ).

При изучении влияния режима освещения 9С/2Т/9С/4Т за контрольный вариант также принимали режим освещения 12С/12Т, являющийся стандартным в исследованиях поведения мышей. В контрольном варианте в данной серии экспериментов основные поведенческие реакции распределялись стандартно: преобладающими являются пристеночные стойки (47 %), 26 % — свободные стойки, 15 % — посещение центра, 6 % — груминг, по 3 % дефекация и мочеиспускание (Рис. 2). На 21 сутки экспозиции, в контрольном вариан-

те преобладающей реакцией по-прежнему оставались пристеночные стойки — 52 %, незначительно снижались показатели свободных стоек — 24 %, посещения центра — 13 %, груминга — 4 %, количество актов дефекации и уринаций — 5 % и 2 % соответственно ( $p > 0.05$ ). При этом статистически значимые отклонения зафиксированы в снижении среднего числа пристеночных ( $p = 0,013$ ) и свободных стоек ( $p = 0,009$ ), как вертикальной двигательной активности, и частоты актов дефекации ( $p = 0,006$ ), что вероятно отражает привыкание особей к экспериментальной обстановке. В тесте «Принудительное плавание» выявлено, что в контрольной группе к 21 суткам экспозиции статистически значимо увеличилась средняя длительность активного плавания до 1 дрейфа на 17 % ( $p = 0,002$ ).

В опытной группе в условиях прерывистой темновой депривации (режим освещения 9C/2T/9C/4T) в начале экспозиции отличий в соотношении поведенческих реакций от контрольной группы на 1 сутки экспозиции не выявлено ( $p > 0.05$ ): преобладающей реакцией также являются пристеночные стойки — 55 %, свободные стойки — 23 %, 12 % — посещение центра, 6 % — груминг, дефекация и мочеиспускание 3 и 2 % соответственно. На 21 сутки экспозиции выявлены внутригрупповые различия в опытной группе: преобладающей реакцией оставались пристеночные стойки — 50 %, однако почти в 2 раза возрастает число актов груминга — 14 %, снижается количество свободных стоек до 14 %, почти в 4 раза возрастает количество дефекаций — 11 %, количество актов мочеиспускания возросло до 4 %, а показатель посещения центра снизился до 7 % ( $\chi^2 = 13.244$ ,  $p < 0,05$ ) (Рис. 2). При анализе изменений по конкретным поведенческим реакциям на 21 сутки отмечены статистически значимые отличия: снижении частоты посещения центра ( $p = 0,000047$ ), количестве пристеночных ( $p = 0,000001$ ) и свободных стоек ( $p = 0,000128$ ) и увеличении частоты актов груминга ( $p = 0,000084$ ) и дефекации ( $p = 0,0096$ ).

Выявлены и межгрупповые отличия в поведении между контрольной и опытной группами ( $\chi^2 = 12.943$ ,  $p < 0,05$ ). Так, второй преобладающей реакцией, после пристеночных стоек, у контрольной группы на конец экспозиции оставались свободные стойки, в то время как у опытной группы на втором месте — груминг (прерывистый) и свободные стойки. Также, статистически значимые отличия отмечены при сравнении показателей контрольной и опытной группы по отдельным показателям; уменьшение посещения центра ( $p = 0,000001$ ), число пристеночных ( $p = 0,000003$ ) и свободных стоек ( $p = 0,000018$ ), увеличение числа актов груминга ( $p = 0,00029$ ) и дефекации ( $p = 0,04$ ). По данным теста «Принудительное плавание» средняя длительность активного плавания до первого дрейфа в опытной группе (режим освещения 9C/2T/9C/4T) к концу экспозиции снижалась на 55,1 % ( $p = 0,000025$ ), а средняя продолжительность дрейфов напротив, возрастала, но незначительно ( $p = 0,102$ ). Однако отмечалось статистически значимое снижение числа пересечений периметра емкости «от стенки к стенке» ( $p = 0,000003$ ) и увеличение количества дрейфов ( $p = 0,0051$ ) (Таблица 2).

При анализе межгрупповых показателей мышей контрольной и опытной группы на 21 сутки экспозиции в тесте «Принудительное плавание» отмечено, что у особей опытной группы уменьшается продолжительность активного плавания 62,7 % ( $p = 0,000192$ ), на 58,8 % уменьшается число перемещений от стенки к стенке ( $p = 0,000004$ ), увеличивается на 33,3 % частота ( $p = 0,0014$ ) и на 64,3 % продолжительность дрейфов ( $p = 0,000003$ ) по сравнению с контролем (Таблица 2).

**Обсуждение результатов**

Живые организмы физиологически приспособлены к циклическому характеру светового воздействия, при этом свет является универсальным синхронизатором

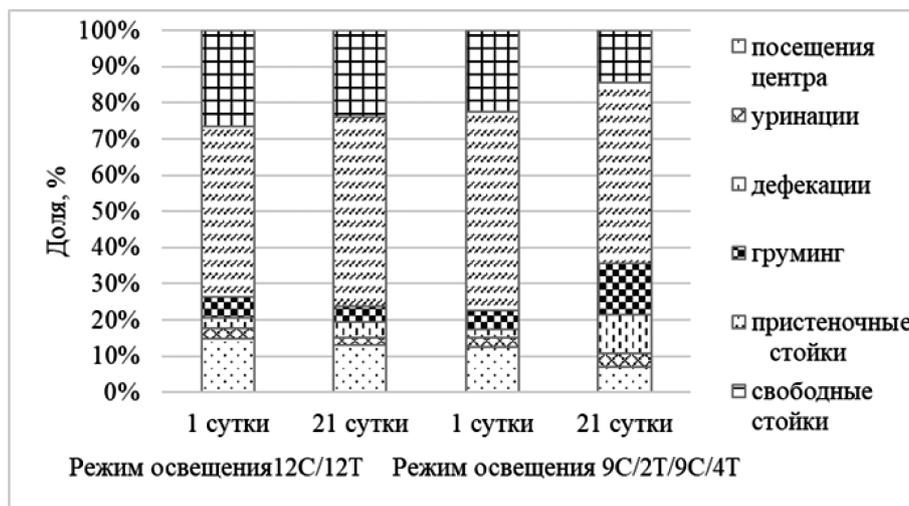


Рис. 2. Изменение показателей поведения мышей в тесте «Открытое поле» при режиме освещения 9C/2T/9C/4T

Таблица 2.  
Изменение показателей тестирования мышей методом «Принудительное плавание» в условиях режима освещения 9C/2T/9C/4T на 21 сутки экспозиции

Параметры	Режим освещения 12C/12T	Режим освещения 9C/2T/9C/4T
Длительность активного плавания, сек.	83.4±2	30.5±3*
Число перемещений от стенки к стенке	16.5±0.4	6.8±0.7*
Продолжительность дрейфов, сек	14.3±1.1	22.9±1.3*
Число дрейфов	4.2±0.3	5.8±0.5*

Примечание: достоверные отличия с показателем режима освещения 12C/12T (контроль) (\* $p \leq 0,05$ ).

большинства биологических ритмов организма. Изменение ритма чередования светлого и темного времени суток может приводить к возникновению рассогласования во времени физиологических процессов, т.е. к десинхронизации. Это приводит к стрессу, проявляющемуся в увеличении риска развития психоэмоциональных нарушений, расстройств сна, иммунодефицитных состояний, дисбалансу серотониновой (5-HT) системы мозга и др. [1, 29]. Нарушение биологических ритмов может быть обусловлено как увеличением длительности темного периода [27], так и увеличением длительности световой нагрузки за счет искусственного «светового шума», что в целом может приводить к нарушению психоэмоционального состояния [30].

Для оценки безусловной эмоциональной реактивности, страха или тревожности имеется несколько тестов, таких как «Открытое поле», «Приподнятый лабиринт» и др. Тест «Открытое поле» широко применяется при изучении поведенческих реакций в фармакологических исследованиях, психогенетике и позволяет оценивать ориентировочно-исследовательские, двигательные реакции, эмоциональную реактивность и работоспособность животных [8, 19, 21, 22, 23]. Проведение снятия данных на 1 сутки экспозиции позволяет выявить стандартные «фоновые» поведенческие реакции грызунов в условиях новой «стрессогенной» обстановки, а изменение исследовательской активности отражает уровень тревожности особей [14, 24]. В контрольной группе при стандартном для лабораторных исследований на мышах режиме освещения 12C/12T показано, что поведение особей на 21 сутки экспозиции практически не отличается от первоначальных данных и преобладающими остаются типичные исследовательские реакции — пристеночные и свободные стойки, посещение центра арены. При этом, отмеченное снижение количества пристеночных стоек, как показателя вертикальной дви-

гательной активности вероятно связано с привыканием особей к экспериментальной обстановке. Поскольку остальные показатели остались с минимальными изменениями, данное снижение частоты осуществления пристеночных стоек на фоне понижения тревожно-фобических реакций может быть связано с привыканием мышей к условиям тестирования и самой арене. Показано, что ориентировочно-исследовательская активность у грызунов имеет возрастные особенности и может снижаться по мере взросления особей [10, 18, 27]. Частая дефекация, наблюдаемая у животных, свидетельствует о тревожности, повышении страха у данной возрастной группы и снижение ощущения спокойствия [10]. Поэтому снижение количества актов дефекации у контрольных особей свидетельствует о снижении тревожности грызунов, за счет адаптации к тестированию.

Достоверное снижение исследовательской активности в условиях освещения 20 свет/4 темнота может быть обусловлено увеличением уровня тревожности, вызванным изменением циркадных ритмов из-за длительного воздействия света, приводящего к недостатку выработки мелатонина [4, 13, 18]. У особей накапливается утомление, приводящее к снижению двигательной и исследовательской активности [6]. Причем животные показывают высокую чувствительность к увеличению длительности светового режима, даже на фоне приема препаратов мелатонина, лишь частично устраняющих изменения в поведении, поскольку эффекты приема мелатонина связаны с генотипом реакции иммунной системы и ряда нейрохимических показателей [6, 29]. Введение дополнительного периода темноты в режиме освещения 9C/2T/9C/4T, как одного из вариантов астичности влияния факторов, практически не улучшил психосоматическое состояние особей. Также, как и в варианте 20C/4T статистически значимо возрастает число актов груминга, дефекаций и снижается частота посещения центра и пристеночных стоек по сравнению с контрольной группой.

Изменение частоты перемещений животных, отражающее активность исследовательского и локомоторного поведения является показателем самоощущения животного в тех или иных условиях освещения (испытывает ли особь стресс или нет). Чаще всего снижение показателя посещения центра арены отмечается при появлении депрессивно-подобного состояния [7, 8, 23]. Это связано с тем, что животное, испытывающее стресс или тревожность, чаще стремится избегать центральную область арены, стараясь держаться на «безопасной» периферии [24]. В целом, угнетение двигательной активности может выступать и как проявление защитного торможения, возникающего на развивающийся стресс [9].

Помимо изменений, отмеченных в двигательной активности и исследовательском поведении, при длитель-

ном световом воздействии при обоих опытных световых режимах было отмечено увеличение числа актов и качества груминга. Груминг является одним из показателей здоровья животного, а хронический стресс способен подавлять чистку шерсти [17]. В нашем исследовании к концу экспозиции он становился коротким, прерывистым и незавершенным, что обусловлено воздействием стресс-фактора, которым является темновая депривация [24, 25]. Увеличение числа актов дефекации у особей опытной группы свидетельствует о появлении тревожности, повышении страха у особей данной возрастной группы и снижение ощущения спокойствия [10]. В ходе наблюдений за животными также отмечено, что шесть особей опытной группы к моменту окончания эксперимента стали более возбужденными: часто прыгали по аквариуму или пространству лабиринта «Открытого поля», издавали агрессивные писки по отношению к другим особям или исследователю, а также пробовали напасть на корнцанг. У особей опытной группы были отмечены атипичные формы поведения: более активное, быстрое передвижение по пространству «открытого поля», вытягивание при передвижении, «дрожание». Таких особенностей поведения у контрольных особей не отмечалось. Данные изменения, особенно высокая частота поз вытягивания, связанная с «оценкой рисков», также связано повышением уровня тревожности мышей опытной группы в условиях десинхроноза [24]. Таким образом, анализ поведенческого спектра мышей в тесте «Открытое поле» позволил отметить у молодых животных сдвиги в поведенческих реакциях, выразившиеся в угнетении исследовательской деятельности, а также развитии тревожности, агрессии. Подобные изменения в поведении грызунов отмечены как при 18-часовом периоде депривации, так и круглосуточном освещении [2, 6, 13, 27, 33, 34], что вероятно можно отнести к поведенческим биомаркерам стресса. В обоих опытных вариантах режима освещения отмечается увеличение частоты актов дефекации, что свидетельствует о повышении уровня тревожности на фоне повышения уровня адреналина [3, 24]. Кроме стандартных изменений в соотношении и количественных показателях поведенческих актов, у особей опытной группы также отмечали копрофагию и дефекацию в емкость с пищей.

Тест «Принудительное плавание» используется для оценки работоспособности и формирования депрессивноподобного статуса у лабораторных животных [16]. В контрольных группах при освещении 12C/12T статистически значимых отличий в продолжительности и частоты дрейфов, числе пересечения от стенки к стенке к концу 21 суток не выявлено. Наоборот, отмечается увеличение длительности активного плавания, что подтверждает данные теста «Открытое поле» и свидетельствует об отсутствии стресс-факторов, негативно действующих на работоспособность контрольных осо-

бей. В условиях стресса при непрерывной темновой депривации животные быстрее переходят к депрессивному неподвижному (дрейфующему) состоянию, «зависанию», снижается активность совершаемых попыток выбраться из сосуда, используемого в ходе эксперимента. Показано, что при длительном световом десинхронозе у грызунов снижается физическая выносливость, определяемая по показателю продолжительности вынужденного плавания с грузом [5]. В нашем случае у животных опытной группы при режиме освещения 20C/4T отмечено на конец экспозиции статистически значимое снижение длительности активного плавания, пересечений от стенки к стенке и наоборот увеличение продолжительности дрейфов, что свидетельствует о снижении работоспособности особей и формировании депрессивно-подобного состояния [11, 28, 30, 31]. Сравнение показателей на 21 сутки экспозиции между контрольной и опытной группами показало статистически значимые отличия в длительности активного плавания и средней продолжительности дрейфов. В условиях освещения 9C/2T/9C/4T у опытной группы к концу экспозиции также было отмечено статистически значимое снижение времени активного плавания и количества перемещений от стенки к стенке. И наоборот отмечается увеличение числа и продолжительности дрейфов, свидетельствует о снижении работоспособности мышей. Как показывают результаты, короткий дополнительный период темноты не достаточен для улучшения психоэмоционального состояния животного, как и в варианте с более длительной темновой депривацией. Кроме того, отмечали, что некоторые мыши опытных групп не способны были проплыть все время экспозиции и переставали удерживаться на поверхности воды. Такой ранний отказ от попыток выбраться из сосуда, склонность к «пассивному плаванию» свидетельствует о том, что животное находится в состоянии депрессии [23]. Подобная физическая неподвижность, выражаемая в дрейфующем состоянии, считается одним из проявлений так называемого «поведенческого отчаяния».

### Заключение

Таким образом, длительное содержание мышей в условиях частичной и прерывистой темновой депривации оказывает негативное влияние на динамику поведенческих реакций, психоэмоциональных проявлений и работоспособность мышей. Длительное освещение приводит к ухудшению психосоматического состояния, росту тревожности и снижению работоспособности особей. Кратковременное дополнительное прерывание освещения не влияет на формирование угнетенного состояния особей, что свидетельствует о запуске механизмов десинхроноза на системном уровне и развитии хронического стресса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Адонина С.Н. Влияние короткого светового дня на поведение и серотониновую систему мозга у мышей каталептической линии CBA/Lac // Физиология — Новосибирск: Новосибирский государственный университет Институт цитологии и генетики СО РАН. — 2020. — С. 118.
2. Антипова О.Н., Иванов, А.Н., Злобин О.В., Суровцева К.А., Анкина В.Д., Бондарь Г.Д., Зенкина Т.М., Полюкова М.В. Нарушение поведенческих реакций белых крыс-самцов в условиях измененного фотопериодизма // Современные проблемы науки и образования. — 2019. — № 4. — С. 62.
3. Батоцыренова Е.А. Биохимические механизмы фармакологической коррекции функционального состояния организма в условиях светового десинхроноза // дисс. на соискание . . . докт.биол.наук, 2024. Санкт-Петербург. Фармакология, клиническая фармакология (биологические науки). 348 с.
4. Белоусова И.И., Жидкова Н.М., Борисова Е.В., Епифанова Е.А., Салина В.А., Тутукова С.А., Лапшин Р.Д., Бабаев А.А., Мухина И.В., Tarabykin V.S. Фенотипические особенности поведения мышей с нокаутом по гену *SIP1* // Современные технологии в медицине. — 2018. — том 10, № 2. — С. 20–30.
5. Бобок М.Н., Павлова Л.А., Козин С.В. Влияние светового десинхроноза на продолжительность вынужденного плавания мышей // Биомедицина. — 2017. — № 1. — С. 28–31.
6. Виноградова И.А. Сравнительное изучение влияния различных световых режимов на психоэмоциональные проявления и двигательную активность у крыс // Вестник НГУ. Серия: Биология, клиническая медицина. — 2006. — Т.4 (2). — С. 69–77.
7. Габай И.А., Мухачев Е.В., Михайлова К.А., Носов В.Н. Апробация метода оценки горизонтальной двигательной активности белых лабораторных крыс с помощью автоматизированной установки «Открытое поле» // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). — 2011. — № 3. — С. 223–226.
8. Гостюхина А.А., Замощина Т.А., Светлик М.В. Жукова А.Б., Зайцев К.В., Абдулкина Н.Г. Поведенческая активность крыс в «открытом поле» после световой или темновой деприваций и физического переутомления // Бюллетень сибирской медицины. — 2016. — 15(3). — С. 16–23.
9. Гостюхина А.А. Особенности адаптивных реакций крыс при физических нагрузках в условиях световых десинхронозов // дисс. на соискание . . . канд.биол. наук. 2017. Томск. 03.03.01. Физиология. 156 с.
10. Губайдуллина И.З. Особенности двигательной активности крыс различных возрастных групп // Вестник магистратуры. — 2016. — № 3 (54). — С. 15–16.
11. Зайцева М.С., Иванов Д.Г., Александровская Н.В. Работоспособность крыс в тесте «Вынужденное плавание с грузом» и причины её варибельности // Биомедицина. — 2015. — № 4. — С. 30–42.
12. Зарубина Е.Г., Грибанов И.А. Роль светового десинхроноза в развитии метаболических нарушений у крыс породы Wistar в эксперименте // Вестник медицинского института «Реавиз». — 2020. — № 1. — С. 107–110.
13. Илюха В.А., Виноградова И.А., Хижкин Е.А., Ильина Т.Н., Узенбаева Л.Б., Лотош Т.А., Айзиков Д.Л., Кижина А.Г., Морозов А.В., Анисимов В.Н. Влияние постоянного и естественного освещения на физиологическое состояние крыс // Принципы экологии. — 2012. — № 1. — С. 29–41.
14. Каде А.Х., Кравченко С.В., Трофименко А.И., Поляков П.П., Липатова А.С., Ананьева Е.И., Чаплыгина К.Ю., Уварова Е.А., Терещенко О.А. Современные методы оценки уровня тревожности грызунов в поведенческих тестах, основанных на моделях без предварительного обусловливания // Кубанский научный медицинский вестник. — 2018. — 25(6). — С. 171–176. DOI: 10.25207 / 1608-6228-2018-25-6-171-176
15. Климина К.М., Батоцыренова Е.Г., Юнес Р.А., Е.Г. Гиляева, Е.Ю. Полуэктова, Т.И. Кострова, А.В. Кудрявцева, М.В. Одорская, В.А. Кашуро, А.С. Касьянов, М.Б. Иванов, В.Н. Даниленко Влияние десинхроноза на состав микробиоты кишечника и физиологические параметры крыс // BMC Microbiology 19, 160 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1535-2>
16. Ковалева М.А., Макарова М.Н., Макаров В.Г. Применение теста «принудительное плавание» при проведении доклинических исследований // Международный вестник ветеринарии. — Санкт-Петербург: «Международный вестник ветеринарии» (МВВ). — 2015. — С. 90–95.
17. Куликов А.В., Тихонова М.А., Куликова Е.А., Куликов В.А., Попова Н.К. Влияние генотипа и эмоционального стресса на гигиеническое поведение мышей // Журнал высшей нервной деятельности. — 2020. — Т.60. — № 5. — С. 632–637.
18. Лотош Т.А., Виноградова И.А., Букалев А.В., Анисимов В.Н. Модифицирующее влияние постоянного освещения на организм крыс в зависимости от сроков начала воздействия // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 5 (2). — С. 308–313.
19. Малышева Е.В. Особенности психофизиологических функций у мышей при снижении уровня нейтрофилов крови // Вестник ТГУ. — 2014. — № 1. — С. 202–204.
20. Осиков М.В., Огнева О.И., Гизингер О.А., Федосов А.А. Этологический статус и когнитивная функция при экспериментальном десинхронозе в условиях светодиодного освещения // Фундаментальные исследования. — 2015. — №1 (часть 7) — С. 1392–1396.
21. Смирнова К.В., Чижова Н.Д., Амстиславская Т.Г. Влияние хронического эмоционально стрессового воздействия на поведение мышей с мутациями q311 и I100p в гене *Disc1* // Сибирский вестник психиатрии и наркологии — 2023 — № 1 — С. 104 — 113.
22. Суркова Е.О., Скрипка М.О., Мирошников М.В. Изучение Влияния новых производных бензимидазола на поведение мышей в открытом поле // Молодёжь и медицинская наука. — 2019. — С. 80.
23. Танаева К.К., Дубынин В.А. Материнская депрессия: когда счастье не в радость // Наука из первых рук. — 2014. — Том 55, №1. — С. 50–59.
24. Трофимова Н.А. Проблемы изучения защитного и исследовательского поведения крыс в лабиринтах для оценки уровня тревожности при экспериментальном исследовании реакции страха // The scientific heritage. — 2020. — № 52. — С. 16–23.
25. Французова Т.И., Чистяков С.И., Балашов В.П., Овсянникова Л.А. Фармакологические способы профилактики стресс-индуцированных состояний в эксперименте // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. — 2010. — №4 (16). С. 26–35.
26. Хабаров С.В., Стерликова Н.А. Мелатонин и его роль в циркадной регуляции репродуктивной функции (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. — 2022. — Т.29. № 3. — С. 17–31.
27. Хижкин Е.А., Гулявина А.В., Илюха В.А., Виноградова И.А., Морозов А.В., Брулер Е.С. возрастные изменения поведения и тревожно-фобических реакций крыс при воздействии световой депривации и лузиндол // Труды Карельского научного центра РАН. — 2018. — № 12. — С. 110–124.

28. Хоцкин Н.В., Баженова Е.Ю., Куликова Е.А., Сорокин И.Е., Куликов А.В. Влияние с1473g полиморфизма в гене триптофангидроксилазы 2 и длины светового дня на поведение мышей // Журнал высшей нервной деятельности. — 2019. — № 1. — С. 78–87.
29. Шурлыгина А.В., Литвиненко Г.И., Гилинский М.А., Латышева Т.В., Мельникова Е.В., Тендитник М.В., Храпова М.В., Труфакин В.А. Влияние мелатонина на показатели иммунной и нервной систем мышей линий СВА и С57BL/6J при нарушении светового режима // Иммунология. — 2016. — № 37(2). — С. 68–75.
30. Becker A., Bilkei-Gorzo, A., Michel, K., Zimmer, A. Exposure of mice to long-light: a new animal model to study depression. // Eur neuropsychopharmacology. — 2010. V. 20 (11) — P. 802–812.
31. Can A., Dao D., Arad M., Terrillion C., Piantadosi S., Gould T. The mouse forced swim test // JoVE Journal. Neuroscience. — 2012. — V. 59. — P. 1 — 5.
32. F. Joseph van der Staat, T. Schuurman, C.G. van Reenen, M. Korte Emotional reactivity, and cognitive performance in aversively motivated tasks: a comparison between four rat strains // Behavioral and brain functions. 5, 50 (2009). <https://doi.org/10.1186/1744-9081-5-50>
33. Garcia A.M., Cardenas F.P., Morato S. Effect of different illumination levels on rat behavior in the elevated plus-maze // PhysiolBehav. —2005. — V. 85 (3). — P. 265–270.
34. Kafkañ N., Elmer G.I. Activity density in the open field: a measure for differentiating the effect of psychostimulants // Pharmacology, biochemistry, and behaviour. — 2005. — V. 80. — P. 239 — 249.

---

© Фомичева Елена Михайловна (fomalyona@bk.ru); Поддубная Алла Александровна (allapoddubnaya0@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ РЕЙТИНГОВОГО АНАЛИЗА

## IMPROVING EFFICIENCY THROUGH RATING ANALYSIS IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS

S. Aksenov  
F. Sinagatullin

*Summary.* The article explores the potential of managing organizational systems using a ratings-based approach, including the ordering and allocation of resources in rating states. It emphasizes that optimizing resource allocation is a key factor in improving system efficiency. To improve the decision-making process, the article suggests using optimization methods. It describes the classification features of interactions with the control center and suggests using three classes of models to model interactions between the components of the organizational system and the control center. Each class of the model can be defined using various structural and parametric mathematical relations. In addition, it provides an illustration of the structure of interaction between the management center and the objects of the organizational system in rating management.

*Keywords:* mathematical model, management, organizational systems, algorithm, model, optimization.

**П**реимущества повышения эффективности рейтингового управления в рамках организационных систем зависят от нескольких ключевых факторов:

- типа исследуемой организационной системы;
- взаимодействия центра управления и производственных объектов на основе конкретных классификационных признаков;
- набора механизмов, используемых для реализации процессов рейтингового управления.

Улучшение распределения ресурсов является ключевой областью, которая может повысить эффективность организационных систем. Однако, как показывает анализ, рейтинговые оценки часто не учитываются в существующих системах распределения ресурсов. Как внутренние, так и внешние рейтинговые оценки в первую очередь направлены на эффективное управление рейтингами.

В данном контексте могут быть разработаны механизмы рейтингового управления для регулирования объемов распределения ресурсов в рамках организационных систем с учетом основных видов деятельности

**Аксенов Сергей Геннадьевич**  
доктор экономических наук, профессор, ФГБОУ ВО  
Уфимский университет науки и технологий  
beregpiya@mail.ru  
**Синагатуллин Фанус Канзелханович**  
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий  
pavel1112w@mail.ru

*Аннотация.* В статье исследуется потенциал управления организационными системами с помощью подхода, основанного на рейтингах, включая упорядочивание и распределение ресурсов в рейтинговых состояниях. Подчеркивается, что оптимизация распределения ресурсов является ключевым фактором повышения эффективности системы. Для улучшения процесса принятия решений в статье предлагается использовать методы оптимизации. Описываются классификационные признаки взаимодействий с центром управления и предлагается использовать три класса моделей для моделирования взаимодействий между компонентами организационной системы и центром управления. Каждый класс модели может быть определен с помощью различных структурных и параметрических математических соотношений. Кроме того, представлена иллюстрация структуры взаимодействия между центром управления и объектами организационной системы при управлении рейтингом.

*Ключевые слова:* математическая модель, управление, организационные системы, алгоритм, модель, оптимизация.

и характеристик развития этих систем. Особая ситуация возникает, когда дополнительные ресурсы выделяются для поддержки определенной группы ведущих предприятий, что позволяет им эффективно конкурировать с аналогичными предприятиями в других организационных системах.

Для формализации подходов к управлению рейтингами необходимы три класса моделей взаимодействия между объектами организационной системы и центром управления. Эти модели облегчают реализацию упорядочения и распределения ресурсов на основе состояний рейтинга. Результаты внутренних и внешних рейтинговых оценок используются для внесения вариативности в процесс принятия управленческих решений, что обусловлено разнообразием моделей в рамках каждого класса.

Выбор оптимального варианта на основе определенных критериев позволяет эффективно принимать решения в процессе управления рейтингом. Это предполагает сосредоточение внимания на методах оптимизации. Уровень формализации в задачах оптимизации зависит

от используемых подходов. Когда формализация выбора наилучшего варианта ограничена, обычно используются методы экспертной оценки.

Процесс отбора экспертов может быть эффективно описан с помощью проблемно-ориентированной процедуры оптимизации. Оптимизационные модели, включающие как непрерывные, так и дискретные переменные, позволяют реализовать формализованные возможности управления.

Рейтинг представляет собой оценку множества аспектов деятельности в рамках анализируемых организационных систем с использованием стандартизированной шкалы. Он предоставляет исчерпывающую, но в то же время краткую информацию о состоянии объектов в рамках этих систем. Целесообразно организовать взаимодействие между центром управления и объектами путем включения рейтинговых оценок, что будет способствовать переходу к процессам рейтингового управления. Рейтинг будет использоваться для анализа, мониторинга, регистрации, прогнозирования и регулирования деятельности объектов в рамках изучаемых организационных систем.

Рейтинговое управление предоставляет конструктивные возможности для всесторонней оценки различных вариантов, сокращая время и затраты на принятие решений по сравнению с традиционными методами, основанными на нескольких показателях. Из имеющихся вариантов выбирается наиболее эффективный. В процессе отбора в качестве основного инструмента используется моделирование, а также применяются различные подходы к экспертной оценке. Мы предлагаем усовершенствовать выбор оптимальных вариантов за счет использования методов оптимизации. Следовательно, процессы оптимизации в рейтинговом управлении требуют дальнейших исследований. Чтобы облегчить переход к оптимизации, мы рассмотрим следующие аспекты:

- определим классификационные признаки, связанные с взаимодействием между центром управления и объектами организационной системы при внедрении рейтингового управления;
- охарактеризуем и формально опишем подходы к управлению рейтингами, сосредоточив внимание на решениях по распределению ресурсов по основным видам деятельности и развитию инфраструктуры в рамках организационных систем;
- моделирование процессов взаимодействия между центром управления и объектами в рамках этих систем;
- обоснование задач оптимизации в рейтинговом управлении и разработка методов их решения. Эти классификационные признаки могут быть использованы для описания взаимодействия центра управления и объектов организационной системы.

К основным классификационным признакам относятся:

1. Тип рейтинговой оценки, используемый при моделировании, который классифицируется как внутренний или внешний. Данная классификация определяется организатором рейтинга объектов.

Внутренняя рейтинговая оценка: В этом случае центры управления выступают в качестве организаторов рейтинга. Как правило, ключевые показатели эффективности выбираются из ряда возможных для мониторинга основных характеристик деятельности объектов в рамках системы. Иногда рассматриваются конкретные области основной деятельности в организационных системах, что приводит к включению дополнительных показателей.

Внешняя рейтинговая оценка: Внешние структуры формируют рейтинг, предоставляя информацию, которая помогает центрам управления понять пути развития объектов в рамках организационных систем по сравнению с аналогичными объектами в других системах. Однако применение внешних оценок при управлении рейтингами может быть сложной задачей из-за запатентованных методов, используемых рейтинговыми агентствами для формирования своих рейтингов. Также рассчитываются комплексные оценки. Данные периодического мониторинга центра управления и четкие процедуры использования этих данных для составления внутренних рейтингов создают основу для интеграции внутренних и внешних рейтингов в управление рейтингами в рамках организационных систем.

2. Форматы моделирования для публичного раскрытия результатов внешних рейтингов включают два типа: глобальные рейтинговые оценки и тематические рейтинговые оценки.

Глобальная рейтинговая оценка: это комплексная оценка, охватывающая все тематические области, связанные с рейтингом. Она обеспечивает общую оценку возможностей в рамках организационных систем.

Тематическая рейтинговая оценка: она фокусируется на различных показателях, характеризующих эффективность объектов в определенных тематических областях. Обе формы имеют решающее значение в управлении рейтингами, поскольку методы рейтинговых агентств часто являются собственными, что затрудняет прогнозирование причин, по которым определенные объекты попадают в глобальный рейтинг. Следовательно, внедрение управленческих решений, облегчающих переходы между состояниями этих объектов, может оказаться сложной задачей.

3. В процессе взаимодействия при моделировании управляющее воздействие применяется двумя

способами: путем корректировки распределения ресурсов для объектов и изменения их рейтингового статуса.

Корректировка распределения ресурсов: Центр управления изменяет ресурсное обеспечение объектов на основе их внутреннего рейтинга в рамках основных видов деятельности организационных систем.

Изменение рейтингового статуса: Цель состоит в том, чтобы переместить объекты в более высокий кластер во внешних оценках, что рассматривается как часть их развития. Центр управления распределяет ресурсы в ходе этого развития, исходя из способности объектов к изменению состояния.

4. При моделировании режим взаимодействия между центрами управления и объектами включает в себя два ключевых аспекта: основную деятельность в рамках организационной системы и режим разработки.

Эта функция классификации основана на предыдущей и направлена на приведение процесса управления рейтингом в соответствие с этими двумя режимами. Взаимодействие между предприятиями и центром управления основано на взаимодействии между ними. Положительная динамика производительности объектов системы в их основной деятельности служит основой для ресурсной поддержки их развития. Количественно эта поддержка зависит от потенциала изменений состояния, которые могут привести к повышению рейтинга кластера.

5. При моделировании взаимодействие между центрами управления и объектами в процессе рейтингового управления включает в себя две формы:

Административное взаимодействие: при этом в основном используются методы экспертной оценки, часто с участием ведущего эксперта в администрации, связанного с центром управления.

Взаимодействие в поддержку принятия решений: Эта форма обеспечивает поддержку принятия решений администрацией как в центре управления, так и на объектах. Она основана на формализованном моделировании и оптимизационных подходах, сочетающих методы экспертной оценки для облегчения принятия обоснованных решений.

Благодаря особенностям классификации мы можем перейти к описанию и формальному представлению методов управления рейтингами. Чтобы облегчить это, мы вводим следующие обозначения:

- $i=\overline{1, I}$  — рассматривается как пронумерованный набор объектов  $O_i$  в рамках организационных системах;

- $y_{im}(t)$  — рассматриваются как значения показателей эффективности для  $i$ -го объекта, полученные из системы мониторинга, внедренной центром управления в течение  $t$ -го операционного периода;
- $m=\overline{1, M}$  — рассматриваются как пронумерованный набор периодов, в течение которых функционируют организационные системы, и связаны с процессами мониторинга;
- $t=\overline{1, T}$  — рассматриваются в виде нумерационного множества периодов работы организационных систем, которые связаны с процессами мониторинга;
- $a_{ij}(t)$  — рассматриваются как показатели эффективности для  $i$ -го объекта, полученные в результате мониторинга в течение  $t$ -го периода.  $t$ -й операционный период и выбираются центром управления в качестве ключевых показателей для внутренних рейтинговых оценок;
- $j=\overline{1, J}$  — рассматриваются как пронумерованный набор показателей, используемых для внутренних рейтинговых оценок основных видов деятельности объектов в рамках организационных систем;
- $r_{in}$  — рассматривается как значение внутренней рейтинговой оценки для  $i$ -го объекта по  $n$ -му направлению основной деятельности, полученное в процессе заказа объектов  $O_i$  с привлечением значений интегральных оценок  $O_i F_i = \varphi(a_{ij})$ ;
- $n=\overline{1, N}$  — рассматривается как пронумерованный набор направлений для основных видов работы в рамках организационных систем;
- $\varphi(a_{ij})$  — рассматривается в виде модели упорядочения объектов  $O_i$  на основе величины интегральной оценки  $F_i$ ;
- $V^0$  — рассматривается как распределение ресурсов для основных видов деятельности организационных систем;
- $V_n^0$  — Это рассматривается как распределение ресурсов для организационных систем в рамках  $n$ -го направления основной деятельности;
- $V^g$  — рассматривается как распределение ресурсов для организационных систем, которое представляется дополнительно сверх ресурсов, выделяемых на основные мероприятия в области развития;
- $V_i^0$  — Это рассматривается как распределение ресурсов для основной деятельности  $i$ -го объекта в рамках организационных систем;
- $V_i^g$  — рассматривается в виде дополнительного ресурсного обеспечения в  $i$ -м объекте;
- $V_i^p$  — рассматривается в виде ресурсного обеспечения при развитии  $i$ -го объекта в организационных системах;

- $\widehat{V}_i$  — рассматривается как заявленное требование к распределению ресурсов для  $i$ -го объекта в рамках организационной системы;
- $x_{in}$  — рассматривается в виде объемного показателя результатов, связанных с основной деятельностью в рамках  $n$ -го направления по  $i$ -му объекту;
- $c_{in}$  — рассматривается в виде удельных затрат при реализации результатов основной деятельности в рамках  $n$ -го к  $i$ -му;
- $r_i$  — рассматривается в виде значения глобальной внешней рейтинговой оценки по  $i$ -му объекту;
- $r_{ij}$  — рассматривается как значение внешней рейтинговой оценки для  $i$ -го объекта в рамках  $l$  тематической области;
- $l = \overline{1, L}$  — рассматривается как пронумерованный набор, соответствующий тематическим областям внешних рейтингов.

Используя данные характеристики, структурные особенности взаимодействия центра управления с объектами организационной системы, основанной на рейтинговом управлении, можно проиллюстрировать на рисунке 1.

Теперь перейдем к описанию подходов к рейтинговой оценке, которые основаны на третьем классификационном признаке. При управлении ресурсами становится важным согласовать интересы центра управления и объектов организационных систем. Для решения вопросов ресурсного обеспечения мы предлагаем использовать следующие механизмы:

- управление распределением ресурсов по всем направлениям основной деятельности организационных систем;
- согласование интересов между центром управления и подразделениями организационных систем

при выделении дополнительной поддержки в области развития;

- управление распределением дополнительных ресурсов для развития объектов в организационных системах, которые обладают наибольшим потенциалом для улучшения своих рейтинговых условий.

При применении первого механизма в направлении оценки, основанного на значении внутреннего рейтинга  $r_{in}$ , ресурсное обеспечение  $V^0$  будет распределено между объектами  $O_i$ . В результате для каждого  $n$ -го направления основной деятельности в  $i$ -м объекте центр управления обеспечит распределение ресурсов объемом  $V_{in}^0 = \overline{1, I}$ ,  $n = \overline{1, N}$ . В данном распределении, помимо рассмотрения рейтинговых оценок, потребности в ресурсах для  $i$ -го объекта также будут учитываться при реализации  $n$ -го направления в рамках основной деятельности —  $\widehat{V}_{in}^0$ ,  $i = \overline{1, I}$ ,  $n = \overline{1, N}$ .

Второй механизм управления определяет приоритетность минимизации общих затрат для обеспечения выполнения основных видов деятельности во всех объектах организационной системы. Следовательно, при администрировании, включающем центр управления и объекты инфраструктуры, возникнут конфликтующие интересы при применении ресурсной поддержки организационных систем в рамках  $n$ -го направления основной деятельности

$$V_n^0 = \sum_{i=1}^I V_{in}^0$$

а также общее распределение ресурсов, которое будет выделено каждому объекту во время выполнения основного вида деятельности

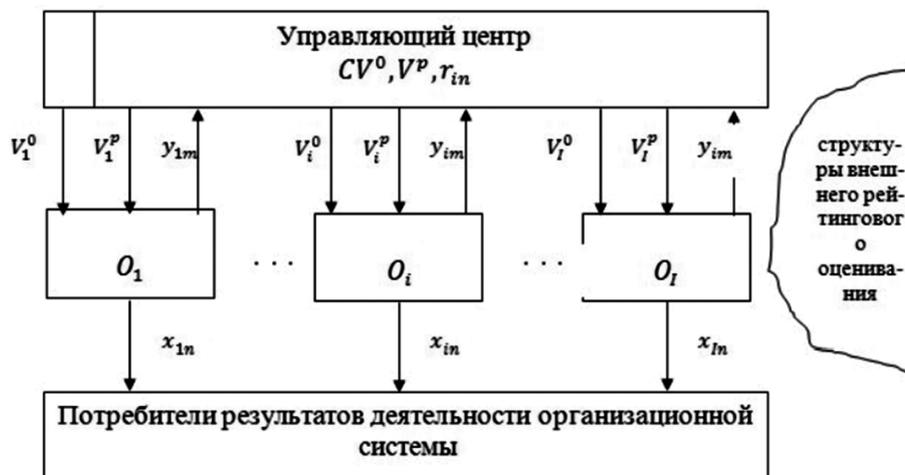


Рис. 1. Иллюстрация структуры взаимодействия управляющего центра и объектов организационных систем в ходе рейтингового управления

$$V_i^0 = \sum_{n=1}^N V_{in}^0$$

Управление выбором на основе значений, равных  $x_{in}, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}$ , требует обеспечения соответствия интересов, когда центр управления выделяет больший ресурс для основной деятельности и когда  $i$ -й объект экономит ресурсы в рамках направлений развития.

Кроме того, в случае третьего механизма рейтинговое управление предполагает распределение дополнительного ресурсного обеспечения  $V^g$  на объекты  $i^1 = \overline{1, I^1} \in \overline{1, I}$ , развитие которых приводит к существенному улучшению внешних рейтинговых условий. Эти объекты принадлежат к кластеру, связанному с глобально конкурирующими однородными объектами  $O_i, i_1 = \overline{1, I_1}$ . Изменению статуса будут способствовать корректировки набора показателей эффективности  $y_{iml}$ , которые повысят внешние рейтинговые оценки для 1-й тематической области  $r_{i1}$ . Это в итоге позволит удовлетворить требования центра управления по улучшению рейтинговых позиций и долгосрочному планированию перехода в более высокий кластер с глобальным рейтингом  $r_{i1}$ . На основе второго механизма управления объекты  $O_{i1}, i^1 = \overline{1, I^1}$ , получают дополнительные ресурсы для обеспечения ресурсами  $V_{i1}^g$  для разработки. Это стало возможным благодаря экономии затрат на основные виды деятельности, что позволяет выполнять указанные требования в центре управления.

Внедрение рейтингового управления, основанного на этих подходах, основывается на определенной последовательности взаимодействия между центром управления и объектами в рамках организационных систем. Ключевым аспектом является то, что центр управления поддерживает организацию мониторинга эффективности объектов с использованием показателей  $y_{im}, i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M}$ . После этого для каждой основной области деятельности выбирается набор показателей  $a_{ij}$  для расчета значений на основе внутренних рейтинговых оценок  $r_{in}, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}$ . Эти оценки определяют объем обеспечения ресурсами  $v_{in}^o$  с учетом потребностей  $i$ -го объекта. Одновременно формируется группа объектов, которые участвуют в распределении дополнительных  $V^g$  ресурсов. Это приводит к улучшению темати-

ческих и интегральных внешних рейтингов  $r_{i1}, r_{i1}$ , учитывая соответствующие объемы. Впоследствии, путем согласования интересов центра управления и объектов в распределении ресурсов  $V_n^0$ , определяются оптимальные значения показателей эффективности  $x_{in}^*$ , где  $i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}$  для объектов, взаимодействующих с потребителями. Наконец, ресурсное обеспечение как для основной деятельности, так и для развития определяется как  $V_i^0, V_i^p$ , где  $i = \overline{1, I}$ .

На заключительном этапе будет выделено ресурсное обеспечение  $V_{i1}^p$  для изменения значений показателей эффективности объектов  $O_{i1}, i^1 = \overline{1, I^1}$ , в необходимых количествах. Такое распределение приводит к долгосрочному изменению состояния, позволяя перейти на более высокую позицию на основе внешних рейтинговых оценок  $r_{i1}, r_{i1}, i^1 = \overline{1, I^1}, l = \overline{1, L}$  в течение определенного периода долгосрочного планирования.

Таким образом:

1. Наиболее подходящий класс организационных социально-экономических систем для рейтингового управления состоит из набора однородных объектов, которые образуют организационную единицу посредством их взаимодействия с центром управления. На процесс принятия решений влияют специфические классификационные особенности этого взаимодействия и механизмы рейтингового управления. Эти механизмы направлены на эффективное распределение ресурсов, согласование интересов центра управления и объектов организационной системы, а также на изменение рейтингового статуса объектов.
2. Для моделирования взаимодействия между объектами организационной системы и центром управления рекомендуется использовать три класса моделей: упорядочивание, ресурсное обеспечение и рейтинговый статус. Каждый класс может быть описан на основе различных структур и параметров математических зависимостей, связывающих рейтинговые оценки с другими показателями эффективности объектов и объемом ресурсной обеспеченности. Это позволяет многогранно внедрять механизмы управления рейтингом.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.Г., Михайлова М.Ю. — Обзор моделей для интеллектуальных методов поддержки принятия решений, основанных на онтологии организационного управления в программных проектах // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики — 2024. — №12. — С. 59–65.
2. Москальчук Ю.И. Проблемы ожидаемых фруктов в организациях / Ю.И. Москальчук, Е.Г. Наумова, Е.В. Киселева // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2013. — № 2(2). — С. 10.
3. Черников С.Ю. Использование системного анализа при управлении организациями / С.Ю. Черников, Р.В. Корольков // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2014. — № 2(5). — С. 16.
4. Преображенский Ю.П. Проблемы работы с проектами при выбросах бизнес-центров / Ю.П. Преображенский, О.Н. Чопоров, Е. Ружицкий // Вестник Воронежского института высоких технологий. — 2021. — № 1(36). — С.107–109.
5. Преображенский Ю.П. Об истории развития автоматизированных систем, находящихся с управлением / Ю.П. Преображенский, О.Н. Чопоров, Е. Ружицкий // Вестник Воронежского института высоких технологий. — 2021. — № 2(37). — С.75–78.
6. Преображенский Ю.П. Особенности информационного обеспечения качества компании / Ю.П. Преображенский, О.Н. Чопоров, Е. Ружицкий // Вестник Воронежского института высоких технологий. — 2021. — № 3(38). — С.67–71.
7. Клименко Ю.А. О системном анализе энергетического предприятия / Ю.А. Клименко, А.П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. — 2022. — № 1(40). — С.122–124.

---

© Аксенов Сергей Геннадьевич (beregrilya@mail.ru); Синагатуллин Фанус Канзелханович (pavel1112w@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ВЕРИФИКАЦИИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЁННОГО РЕЕСТРА

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DATA VERIFICATION SYSTEM USING DISTRIBUTED REGISTRY TECHNOLOGY

**M. Altynnikov  
D. Sachkov  
Yu. Shishkin**

*Summary.* The article discusses the possibilities of using distributed network technology to improve the security, transparency, and efficiency of educational data verification. The analysis of the educational result verification system is carried out with a focus on identifying the key aspects that need to be improved to ensure the reliability and transparency of verification processes. The integration of a system using IPFS and distributed networks for decentralized data storage and verification based on cryptographic methods is proposed. Special attention is paid to the system architecture, component interaction mechanism and algorithms to automate the verification process and strengthen the trust in educational outcomes within the learner's digital footprint.

*Keywords:* system analysis, distributed networks, verification, higher education institutions, digital footprint, decentralization, IPFS, data management, automation, cryptographic methods.

**Алтынников Максим Сергеевич**

Аспирант, Иркутский Государственный  
Университет Путей Сообщения  
altynnikovms@yandex.ru

**Сачков Дмитрий Иванович**

кандидат экономических наук, доцент,  
проректор по цифровым технологиям, Иркутский  
Государственный Университет Путей Сообщения  
sachkov\_di@irgups.ru

**Шишкин Юрий Николаевич**

кандидат технических наук, начальник управления  
информатизации, доцент, Иркутский Государственный  
Университет Путей Сообщения  
shishkin\_yn@irgups.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются возможности применения технологии распределённых сетей для повышения безопасности, прозрачности и эффективности проверки образовательных данных. Проведён анализ системы верификации образовательного результата с акцентом на выявление ключевых аспектов, требующих улучшения для обеспечения надёжности и прозрачности процессов проверки. Предложена интеграция системы, использующей IPFS и распределённые сети, для децентрализованного хранения и верификации данных на основе криптографических методов. Особое внимание уделено архитектуре системы, механизму взаимодействия компонентов и алгоритмам, что позволяет автоматизировать процесс проверки и укрепить доверие к образовательным результатам в рамках цифрового следа обучающегося.

*Ключевые слова:* системный анализ, распределённые сети, верификация, высшие учебные заведения, цифровой след, децентрализация, IPFS, управление данными, автоматизация, криптографические методы.

**Ц**ифровой след (в образовании) — данные об обучающемся и его активностях, включающие в том числе видео и аудиозаписи, данные о хронологии взаимодействия с различными средствами обучения и воспитания, о хронологии взаимодействия с другими участниками отношений в сфере образования и информацию о таком взаимодействии, в том числе о полученных квалификациях, о последующем трудоустройстве и профессиональной деятельности, рецензиях и оценках, а также о результатах обучения с использованием учебно-методических данных, представленные в электронном цифровом формате. Все эти наборы данных можно объединить в одну группу — образовательный результат.

Так на примере перечня источников, технических средств, элементов, и показателей для целей сбора

цифрового следа в стандарте «Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Цифровой след. Общие положения» версия 1.0.3 Университета НТИ «20.35» [4] представлено более 100 источников из которых могут формироваться набор данных о обучающемся. В итоге мы получаем что по одному человеку может быть сформирован значительный набор данных в количественном измерении. Это позволяет в процессе непрерывного образования, использовать для структурирования описания и идентификации, эффективного поиска и применения электронных образовательных ресурсов в электронных информационно-образовательных средах.

Цифровой след может быть, как положительным, так и отрицательным. С одной стороны, он может помочь

в персонализации образовательного процесса и улучшении качества обучения. С другой стороны, важно учитывать вопросы конфиденциальности и безопасности данных, а также необходимость обеспечения верификации и достоверности данных.

Защита цифрового следа в образовании — важная задача, которая требует внимания как со стороны образовательных учреждений, так и самих обучающихся.

В данной статье предлагается рассмотреть вопрос организации решения проблем, связанных с мошенничеством при проверке образовательного результата в контексте цифрового следа обучающегося. Традиционные методы проверки подлинности таких данных часто оказываются дорогостоящими, требуют значительных временных затрат и подвержены риску подделки.

Под системой понимается совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом для прохождения процесса верификации образовательного результата. В предложенной системе используются преимущества технологии распределенного реестра, включая защиту от несанкционированного доступа и прозрачность записей, для создания надежного и эффективного способа верификации цифровых результатов образовательного процесса.

Система обеспечивает подлинность данных, предотвращает их фальсификацию и другие формы мошенничества, а также способствует прозрачности и подотчетности. Разработка данной системы ориентирована на повышение эффективности, точности и безопасности верификации данных, связанных с результатами обучения. Это, в свою очередь, усиливает доверие к подтвержденным результатам, предоставляемым образовательными учреждениями и различными организациями.

### Обзор литературы

Исследование Тианы Лоуренс (2017) показывает, что распределенный реестр представляет собой структурированную информацию, используемую как цифровая книга, содержащая данные, которыми можно делиться с участниками независимой сети.

Ченг, Ли, Чи и Чен (2018) в своей работе «Смарт-контракт для цифровых сертификатов» предложили использовать блокчейн для предотвращения подделок сертификатов, позволяя проверять подлинность цифровых сертификатов и минимизировать подделки, а также применять QR-коды и коды запросов, прикрепляемые к бумажным сертификатам.

В исследовании JS Callan и его коллег (2019) рассматривались методы применения распределенного

реестра для обеспечения цифровыми сертификатами устройств Интернета вещей (IoT) без использования центрального удостоверяющего центра. Дева Аю Дита Витамы и И Ваян Суартана (2019) выяснили, что восприятие полезности, простоты использования и риска положительно влияет на интерес студентов к блокчейн-системам. Чем выше удобство использования, тем сильнее интерес к данной технологии.

Пол Дж. Тейлор Туска, Даргахи Али и их соавторы в обзоре литературы по кибербезопасности распределенного реестра рассматривают его использование для повышения безопасности в IoT, таких как визуализация сети, криптография с открытым ключом, схемы сертификации и безопасное хранение данных.

В исследовании И. Бандары, Ф. Иораса и МП Аррайзы (2018) анализируются базы данных, реплицируемые и синхронизируемые для валидации в интернете. Архитектура, предложенная авторами, использует децентрализованную систему совместной проверки.

Несмотря на то, что в этих исследованиях рассматривается использование технологии распределенного реестра для аутентификации в различных сферах, необходимо продолжить изучение масштабируемости и совместимости распределенных систем. С увеличением распространения технологии распределенного реестра становится важным обеспечить способность этих систем эффективно обрабатывать большие объемы данных и транзакций, а также интегрироваться с другими системами. Следовательно, будущие исследования могут сосредоточиться на оценке производительности и масштабируемости распределенных решений, особенно в таких областях, как образование, где объем данных значительно велик. Помимо этого, важно будет исследовать методы интеграции распределенного реестра с другими технологиями, чтобы обеспечить совместимость и беспрепятственный обмен данными, что сыграет ключевую роль в успешном внедрении и функционировании таких систем на практике.

Настоящая статья посвящена анализу преимуществ и вызовов при переходе системы верификации данных в высших учебных заведениях на распределенный реестр с использованием IPFS, а также обсуждению ключевых аспектов его внедрения для повышения эффективности и безопасности процессов управления данными.

### Анализ существующей системы

В настоящее время в образовательной сфере России широко применяется система верификации данных с использованием электронной подписи. Это стало возможным благодаря активному внедрению цифровых технологий и нормативной базе, поддерживающей их использование.

Система верификации данных на основе электронной подписи (ЭП) использует криптографию для подтверждения подлинности данных и идентификации подписанта. Этот процесс позволяет удостовериться, что данные были подписаны определённым лицом и не были изменены после подписания. Система работает на основе использования криптографических ключей, а именно пары открытого и закрытого ключей.

### Принцип работы системы электронной подписи

Электронная подпись использует пару криптографических ключей: закрытый, который применяется для создания подписи и хранится в секрете, и открытый, доступный для проверки подписи. При подписании данных сначала вычисляется их хэш с помощью хэш-функции (например, SHA-256) [8], затем этот хэш шифруется закрытым ключом, образуя подпись. Для проверки используется открытый ключ: расшифрованный хэш сравнивается с хэшем исходных данных, что подтверждает подлинность подписи и неизменность данных.

Система электронной подписи опирается на инфраструктуру открытых ключей (ИОК), включающую удостоверяющие центры, которые выдают цифровые сертификаты, связывающие открытый ключ с конкретным лицом или организацией. Однако для эффективного использования системы необходимо учитывать особенности: обеспечение защиты закрытого ключа, сложность внедрения, срок действия ключей и возможные проблемы совместимости между разными платформами.

### Анализ предлагаемой системы

Предлагаемая система позволит организации безопасно передавать защищаемые данные для удалённой верификации и, как следствие, повысит качество предоставляемых услуг и общую производительность. Разрабатываемая система будет использовать архитектуру распределённой сети, что обеспечит высокий уровень безопасности данных и гарантирует, что доступ к ним бу-

дет предоставлен только тем участникам, которые действительно имеют интерес к этой информации.

Так же для хранения хэш функций будет использоваться технология IPFS.

Система верификации набора данных на основе IPFS (InterPlanetary File System) использует децентрализованную технологию хранения и распространения данных, чтобы обеспечить целостность, доступность и подлинность.[8] В отличие от традиционных методов, таких как электронные подписи, IPFS фокусируется на хранении данных и их метаданных в распределённой сети, что обеспечивает высокую степень децентрализации.

Предложенная архитектура IPFS системы с поддержкой распределённой сети включает 3 ключевых компонента: 1. Узлы IPFS, 2. Контракт для верификации по хэшам, 3. Распределённая сеть На рисунке 1 представлено, как эти три компонента взаимодействуют в рамках единой системы, обеспечивая её целостность и устойчивость.

1. Узлы IPFS: Эти узлы образуют децентрализованную сеть, которая служит распределённым хранилищем для реальных наборов данных. Файлы загружаются на узлы, которые совместно хранят и реплицируют данные в виде отдельных объектов. Использование IPFS позволяет сократить затраты на хранение и ускоряет доступ к данным за счёт распределённого хранения, избегая избыточного дублирования, даже при значительных объемах данных.

Каждый объект данных в IPFS может содержать до 256 КБ. Если объем данных превышает этот размер, они разбиваются на несколько связанных объектов IPFS, которые объединяются для обеспечения целостности данных [10]. Для доступа к данным в сети используются идентификаторы содержимого (CID) (Рисунок 2), которые позволяют находить и извлекать оригинальные наборы данных из IPFS.[9]

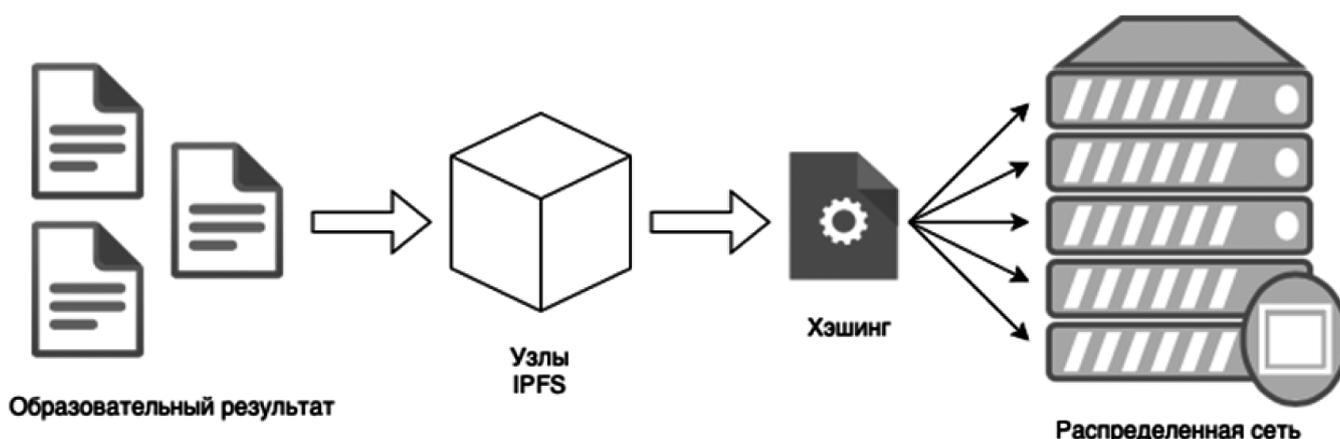


Рис. 1. Механизм взаимодействия компонентов системы

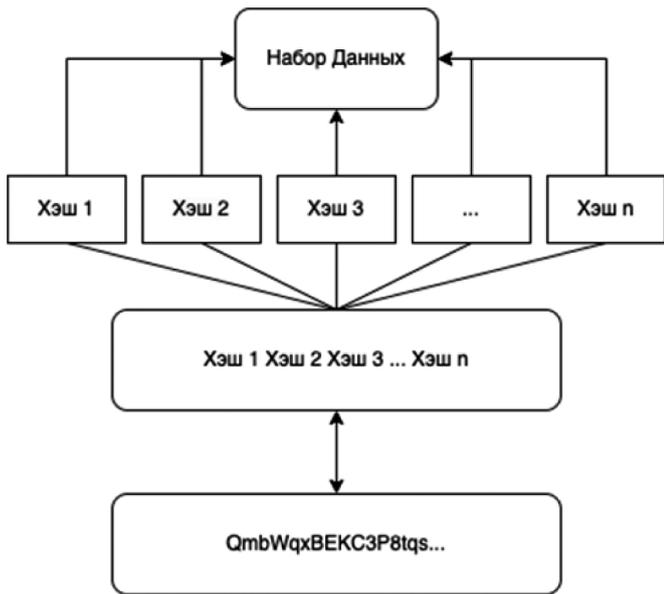


Рис. 2. Моделирование CID IPFS

2. Процесс верификации включает несколько этапов (Рисунок 3):

Добавление данных: Пользователь загружает файл в IPFS — децентрализованное хранилище, которое присваивает данным уникальный хэш (похожий на цифровой отпечаток). Этот хэш указывает на конкретные данные и позволяет его быстро найти в сети IPFS. Затем пользователь добавляет этот IPFS-хэш в распределенную сеть через контракт. Распределенная сеть, в свою очередь, хранит информацию о данных, включая IPFS-хэш и данные об пользователе.

Проверка данных: Любой пользователь может запросить у системы информацию о данных, используя его хэш. Система проверяет, есть ли они в базе, и если да, то сообщает: когда данные были добавлены, кто его добавил и где его можно найти в IPFS.

Удаление данных: Авторизованный пользователь может удалить хранящиеся хэши из распределенного реестра, при условии, что они были загружены им же.

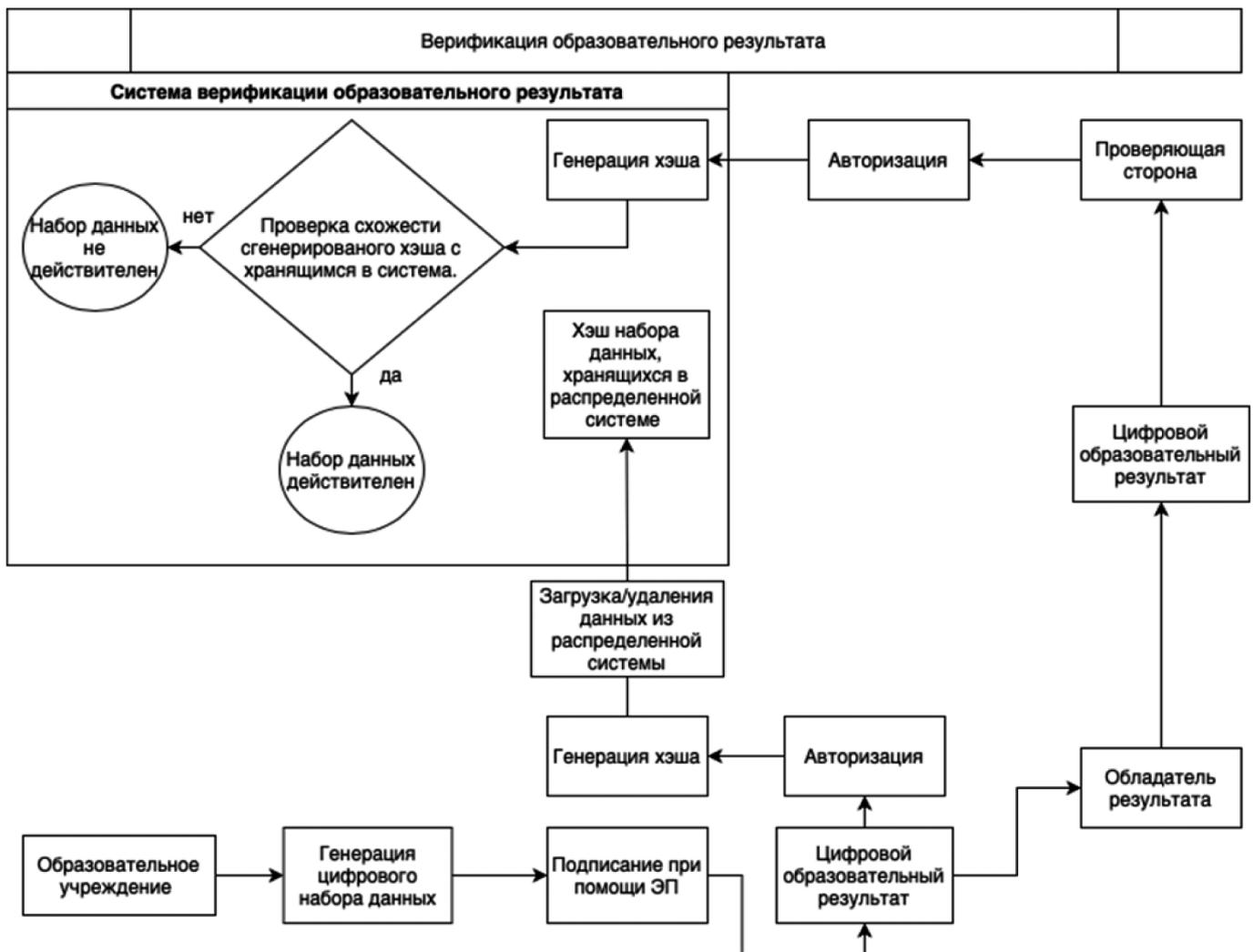


Рис. 3. Модель системы верификации

Для работы системы предлагается использовать смарт-контракт на языке Solidity для управления экспортными данными в децентрализованной системе. В дополнение к этому, для визуализации и описания бизнес-логики процессов может быть применён Язык моделирования бизнес-процессов (IDFE0).

Важные моменты:

- Владелец контракта имеет полные права на добавление и удаление пользователя, а также может изменять информацию об пользователях.
- Пользователи могут добавлять документы в систему, но только если они были зарегистрированы в контракте, и только если их информация совпадает с информацией, указанной в записи данных.
- Контракт использует хэши данных для их уникальной идентификации и для взаимодействия с системой хранения файлов IPFS.

В данной работе разработана уникальная модель верификации образовательных результатов, основанная на технологии распределенных сетей, которая значительно улучшает процесс проверки подлинности данных. Эта система повышает безопасность, достоверность и конфиденциальность образовательных документов, минимизируя риски подделки. Предложенная модель выгодна как для образовательных учреждений, выдающих подтверждения об образовательных достижениях, так и для студентов и работодателей, использующих эти данные. Ее ключевым преимуществом является хранение всей необходимой для проверки информации в распределенной сети, что исключает возможность несанкционированного изменения данных. Кроме того, данная модель прекрасно вписывается в концепцию цифрового следа, предоставляя возможность пользователям отслеживать и подтверждать историю своих образовательных достижений с высоким уровнем доверия к данным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алтынников М.С. Использование блокчейн технологии в организации систем в образовательных учреждениях / М.С. Алтынников // World of science: сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 ноября 2023 года. — Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. — С. 83–86. — EDN CVVKSБ.
2. Сачков Д.И. Создание единого технологического решения автоматизации деятельности образовательных организаций / Д.И. Сачков, Ю.Н. Шишкин, А.А. Шедиков // Baikal Research Journal. — 2024. — Т. 15, № 1. — С. 205–213. — DOI 10.17150/2411–6262.2024.15(1).205-213. — EDN TBGQWM.
3. Архитектура IBM Hyperledger Fabric. [Электронный ресурс]: URL <https://www.ibmSkillsAcademy.com/>.
4. «Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Цифровой след. Общие положения» версия 1.0.3 Университета НТИ «20.35»
5. Consensus Algorithm (Proof-of-Work). [Электронный ресурс] URL: <https://cointelegraph.com/explained/proof-of-work-explained> (дата обращения: 15.9.2024).
6. Дегтярев Ю.Н. Системный анализ и исследование операций // учебник. М.: Высш. шк., 1996. — С. 335.
7. Cynthia Dwork, Moni Naor Pricing via Processing or Combatting Junk Mail // The Weizmann Institute of Science [Электронный ресурс] URL: [wisdom.weizmann.ac.il/~naor/PAPERS/pvp.pdf](http://wisdom.weizmann.ac.il/~naor/PAPERS/pvp.pdf) (дата обращения: 4.9.2024)
8. Способ контроля целостности данных на основе применения хэш-функции по принципу сочетаний хэш-значений / А.О. Лачинов, А.В. Решотка, А.В. Лавриненко [и др.] // Информатика: проблемы, методы, технологии : Материалы XXI Международной научно-методической конференции, Воронеж, 11–12 февраля 2021 года. — Воронеж: Общество с ограниченной ответственностью «Вэлборн», 2021. — С. 991–996. — EDN ZUKSFO.
9. Dwivedi S.K. Smart contract and IPFS-based trustworthy secure data storage and device authentication scheme in fog computing environment / S.K. Dwivedi, R. Amin, S. Vollala // Peer-to-Peer Networking and Applications. — 2023. — Vol. 16, No. 1. — P. 1–21. — DOI 10.1007/s12083-022-01376-7. — EDN YWLIYG.

© Алтынников Максим Сергеевич (altynnikovms@yandex.ru); Сачков Дмитрий Иванович (sachkov\_di@irgups.ru);

Шишкин Юрий Николаевич (shishkin\_yn@irgups.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ С ИМПУЛЬСНЫМ ЧАСТОТНО-ФАЗОВЫМ ДЕТЕКТОРОМ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ФАЗОВЫЕ ПОДПРОСТРАНСТВА

## QUALITATIVE ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF A MATHEMATICAL MODEL OF A FREQUENCY SYNTHESIZER WITH A PULSE FREQUENCY-PHASE DETECTOR USING PHASE SUBSPACES

**O. Antonovskaya  
A. Besklubnaya**

*Summary.* In mathematical modeling of the dynamics of discrete phase synchronization systems, the complexity of the mathematical model is mainly related to the dimensionality of the problem and the design of the state space. Thus, the appropriateness of using one or another method of its study is dictated by considerations related to the simplicity of the method and the acceptable accuracy of the results obtained. Consistent application of the point mapping method allows us to approach with a sufficient degree of clarity not only the formation of mathematical models of discrete systems, but also the study of their dynamics. This paper presents the results of a study of the dynamics of a frequency synthesizer with a pulse frequency-phase detector using the point mapping method. The mathematical model under study uses three phase subspaces corresponding to the piecewise constancy of the control signal. Importance is given to the study of possible transitions of the system trajectory between subspaces. A complete qualitative study of the stationary movements of the mathematical model of the system is carried out.

*Keywords:* discrete phase synchronization system, frequency synthesizer, mathematical model, point mapping method, phase subspace.

**Антоновская Ольга Георгиевна**

кандидат физико-математических наук, доцент,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный  
архитектурно-строительный университет»  
olga.antonovskaja@yandex.ru

**Бесklubная Антонина Вячеславовна**

кандидат педагогических наук, Федеральное  
государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный  
архитектурно-строительный университет»  
antbesk@gmail.com

*Аннотация.* При математическом моделировании динамики дискретных систем фазовой синхронизации сложность математической модели связана, в основном, с размерностью задачи и конструкцией пространства состояний. Таким образом, целесообразность использования того или иного метода ее исследования диктуется соображениями, связанными с простотой применения метода и приемлемой точностью получающихся результатов. Последовательное применение метода точечных отображений позволяет с достаточной степенью наглядности подойти не только к формированию математических моделей дискретных систем, но и к исследованию их динамики.

В настоящей работе приводятся результаты исследования динамики синтезатора частоты с импульсным частотно-фазовым детектором методом точечных отображений. Исследуемая математическая модель использует три фазовых подпространства, соответствующих кусочному постоянству сигнала управления. Особое значение придается изучению возможных переходов траектории системы между подпространствами. Производится полное качественное исследование стационарных движений математической модели системы.

*Ключевые слова:* дискретная система фазовой синхронизации, синтезатор частот, математическая модель, метод точечных отображений, фазовое подпространство.

### Введение

Ключевым моментом универсальной методики адекватного математического моделирования динамики систем синхронизации типа синтезаторов частот (СЧ), использующих принцип широтно-импульсной модуляции управляющего сигнала, является использование принципов моделирования динамики систем с переменной структурой [1], когда в условиях

постоянства сигнала управления возможно введение в рассмотрение динамического оператора изменения во времени состояния отдельно взятой подсистемы и анализ на этой основе условий перехода от одной подсистемы к другой. При этом особый интерес представляет последовательное применение метода точечных отображений [2], что позволяет не только более обоснованно подойти к процессу формирования математических моделей (ММ) синтезаторов частот, но и

расширить возможности качественного исследования их динамики [3,4].

В настоящей работе на примере рассмотрения СЧ с импульсным частотно-фазовым детектором [5] и фильтром нижних частот с идеальным астатизмом показывается, что изучение динамики СЧ по методу точечных отображений допускает полное качественное исследование стационарных движений математической модели системы. Математическая модель системы использует фазовые подпространства, соответствующие постоянству сигнала управления [6].

### Математическая модель синтезатора частоты, использующая фазовые подпространства

Рассмотрим ММ СЧ с уравнениями [6]: при подключенном выходе детектора

$$\begin{aligned} \alpha \dot{\theta} &= g(x(\tau)), \quad (0 \leq \theta \leq 1, 0 \leq \tau \leq 1, u = \pm 1), \\ \mu \dot{x} &= u - x, \end{aligned} \quad (1)$$

и при отключенном выходе детектора на этапе хранения информации

$$\begin{aligned} \alpha \dot{\theta} &= g(x(\tau)), \quad (0 \leq \theta \leq 1, 0 \leq \tau \leq 1), \\ x(\tau) &= x_0, \end{aligned} \quad (2)$$

где точкой обозначено дифференцирование по времени  $\tau$ , изменяющемуся в пределах периода сигнала ОГ;  $0 < \mu < 1$  — астатизирующий параметр;  $\alpha$  — показатель счетчика (С);  $u$  — выходной сигнал детектора;  $x$  — выходная координата фильтра;  $\theta$  — координата С пустого при  $\theta=0$  и заполненного при  $\theta=1$ ;  $x_0$  — начальное условие;  $g(x) > 0$  — нормированная на единицу ( $g(0)=1$ ) характеристика управляемого генератора (УГ).

При введении трех подпространств [6]:  $\Pi_1$ , в котором определена система (1) с  $u=+1$ ;  $\Pi_3$ , в котором система (1) определена при  $u=-1$ , — и подпространство  $\Pi_2$ , в котором определена система (2), — оказывается возможным сведение изучения перемещений изображающих точек движения (ИТД) через подпространства к рассмотрению свойств одномерного точечного отображения  $T$ .

Поскольку при таком подходе к моделированию динамики СЧ режимы работы детектора обусловлены свойствами фазовых траекторий в каждом из подпространств, а при переходе к случаю идеального астатизма ( $\mu = +0$ ) в силу устойчивости (1) по быстрым движениям при  $\mu = +0$  участков поверхности  $x=u=const$  фазовая траектория возмущенного при  $\mu \neq 0$  циклического движения располагается в  $O(\sqrt{\mu})$ -окрестности невозмущенного движения [7], и при этом направление и величина мгновенного скачка по координате  $x$  при переходе траектории движения из одного подпространства в другое

определены однозначно, — постольку переход к изучению ММ СЧ пониженной размерности является обоснованным, что, в свою очередь, представляется возможность проведения полного качественного анализа динамики. Действительно [8], несложные исследования поведения ИТД с произвольными начальными условиями в подпространстве  $\Pi_1$  и их дальнейшего продвижения через подпространство  $\Pi_2$  с выходом в  $\Pi_3$  позволяют установить, что связь между начальной и конечно точками такого движения описывается отображением

$$T_+ : \bar{x} = +1. \bar{\tau} = (\alpha / g(1))(m_1 + 2 - \theta_0) - m_1, \quad (3)$$

$$1 - (g(+1) / \alpha - 1)(1 + m_1) \leq \theta_0 \leq 1 - (g(+1) / \alpha - 1)m_1, \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} m_1 &= m_1(\theta_0) = \\ &= \text{ceil}(((\alpha / g(1))(2 - \theta_0) - 1) / (1 - (\alpha / g(1)))) \end{aligned} \quad (5)$$

Знак «ceil» означает операцию округления числа до целого в большую сторону. Величина  $m_1$  в (3) определяет количество возвратных движений из  $\Pi_2$  в  $\Pi_1$ , возникающих в процессе движения ИТД. Аналогично находим, что процесс перемещения ИТД из подпространства  $\Pi_3$  в подпространство  $\Pi_2$  и далее в  $\Pi_1$  описывается отображением

$$T_- : \bar{x} = -1. \bar{\theta} = (g(-1) / \alpha)(m_2 + 2 - \tau_0) - m_2, \quad (6)$$

$$1 - (\alpha / g(-1) - 1)(1 + m_2) \leq \tau_0 \leq 1 - (\alpha / g(-1) - 1)m_2, \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} m_2 &= m_2(\tau_0) = \\ &= \text{ceil}(((g(-1) / \alpha)(2 - \tau_0) - 1) / (1 - (g(-1) / \alpha))) \end{aligned} \quad (8)$$

Величина  $m_2(\tau_0)$  в (6) определяет количество возвратных движений из  $\Pi_2$  в  $\Pi_3$ .

### Качественное исследование математической модели

Для простейшего случая, когда  $2g(-1) < \alpha < g(+1) / 2$ , т.е.  $M_1=M_2=0$  ( $M_1 = \max_{\theta_0} m_1(\theta_0)$ ,  $M_2 = \max_{\tau_0} m_2(\tau_0)$ ), и, следовательно, графики функций соответствия отображений  $T_+$  и  $T_-$  не имеют разрывов, совместная диаграмма графиков приведена на рисунке 1.

Из диаграммы рисунка 1 очевидна глобальная устойчивость единственной неподвижной точки с координатами  $\tau_0 = \tau^*$  для отображения  $T_+$  и  $\theta_0 = \theta^*$  для отображения  $T_-$ . Диаграмма рисунка 1 существенно усложняется при появлении разрывов у отображений  $T_+$  и  $T_-$ . Для установления системной связи между количеством раз-

рывов у отображений  $T_+$ ,  $T_-$  и характером пересечения их графиков необходимо конкретизировать вид функции  $g(x)$ . В случае линейной  $g(x)=1+Sx$  таким системообразующим параметром является крутизна характеристики  $S$ .

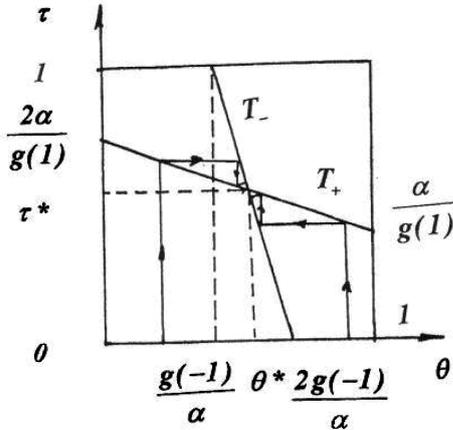


Рис. 1. Графики функций соответствия отображений  $T_+$  и  $T_-$

При  $2g(-1) < \alpha < g(+1) / 2$ ,

Считая [6]  $M_1$  и  $M_2$  заданными числами, находим, что на плоскости  $\alpha, S > 0$  уравнения границ областей существования определенного количества разрывов принимают вид: у отображения  $T_+$

$$S = S(M_1) = -1 + ((M_1 + 2) / (M_1 + 1))\alpha \quad (M_1 = 0, 1, \dots) \quad (9)$$

и у отображения  $T_-$

$$S = S(M_2) = 1 - ((M_2 + 1) / (M_2 + 2))\alpha \quad (M_2 = 0, 1, \dots) \quad (10)$$

На плоскости  $\alpha, S > 0$  в пределах границ управляемости  $S \geq \alpha - 1$  ( $\alpha \geq 1$ ),  $S \geq 1 - \alpha$  ( $\alpha \leq 1$ ) и условия  $S < 1$  эквивалентного физическому условию  $g(-1) > 0$  положительности частоты УГ, области с границами (9), (10) образуют два пересекающихся веера. Веер границ (9) с увеличением  $M_1$  разворачивается относительно точки  $(0, -1)$  вправо, веер с границами (10) разворачивается с увеличением  $M_2$  относительно точки  $(0, 1)$  также вправо. При  $\alpha = 1$  границы (9), (10) пересекаются при условии  $M_1 = M_2 + 1$ , что непосредственно видно из рисунка 2 для некоторого начального количества  $M_1$  и  $M_2$ . Области, образованные границами (9), (10), на рисунке 2 пронумерованы двузначными числами, в которых первая цифра соответствует величине  $M_1$ , а вторая —  $M_2$ . При установленной классификации областей рисунку 1 соответствует параметрам  $\alpha, S$ , принадлежащим области № 00. При переходе на плоскости  $\alpha, S$  из области № 00 в область № 11 совместная диаграмма графиков для отображений  $T_+$  и  $T_-$  принимает вид, приведенный на рисунке 3. Как следует из рисунка 3, появление разрывов у отображений  $T_+$  и  $T_-$

пока не повлияло на условия существования и устойчивости неподвижной точки с  $\tau_0 = \tau^*, \theta_0 = \theta^*$ .

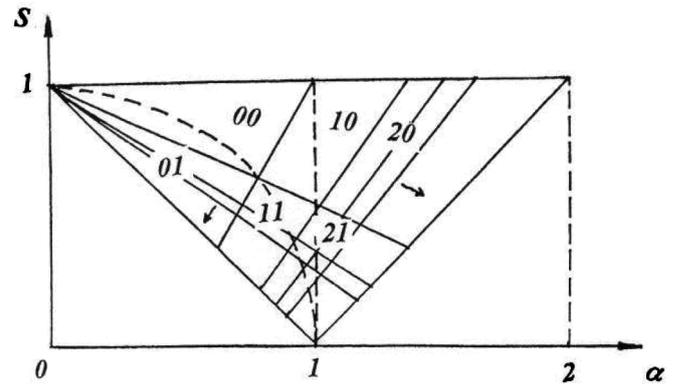


Рис. 2. Границы областей существования определенного количества разрывов

Переходя к общему анализу относительного расположения графиков функций соответствия отображений  $T_+$  и  $T_-$ , необходимо отметить, что на плоскости  $\alpha, S$  имеется геометрическое место точек

$$\alpha = \sqrt{1 - S^2} \quad (0 \leq S \leq 1), \quad (11)$$

на котором выполняется сразу два условия: первое —  $M_1 = M_2 = M$ , т.е. у графиков одинаковое число разрывов (если они есть), и второе условие — равенство величины интервалов, в которых располагаются графики  $T_+$  и  $T_-$  в местах разрыва, т.е. обеспечивается полная симметричность диаграммы, как на рисунке 3. Кривая (11) на рисунке 2 изображена пунктиром и проходит через точку  $(0, 8; 0, 6)$  пересечения границ с  $M_1=0, M_2=0$ . Для значений параметров, лежащих на кривой (11) в области № 00, хотя разрывов у графиков нет, но они располагаются симметрично относительно главной биссектрисы приблизительно так, как это показано на рисунке 1. Поскольку на кривой (11) в интервале  $0, 8 \leq \alpha \leq 1$  величина  $\alpha$  появления разрыва графиков для  $T_+$  и  $T_-$  одинакова и определяется соотношением

$$\alpha = 1 - \sqrt{\frac{1 - S}{1 + S}}, \quad (12)$$

постольку  $\max_{\alpha} \alpha = \alpha(0, 6) = 0, 5$ . При этом базовые интервалы непрерывности графиков увеличились настолько, что стали равными интервалу определения отображений  $T_+$  и  $T_-$  соответственно, т.е.  $0 \leq \theta_0 \leq 1$  для  $T_+$  и  $0 \leq \tau_0 \leq 1$  для  $T_-$ . Это имеет место, поскольку при  $m_1 = m_2 = 0, \alpha = 0, 8, S = 0, 6$  значения  $\theta_{op}$  и  $\tau_{op}$ , соответствующие разрывам, становятся равными нулю.

Согласно рисунку 3 ближайшие точки разрывных частей графиков функций соответствия отображений  $T_+$  и  $T_-$  имеют координаты для  $T_+$

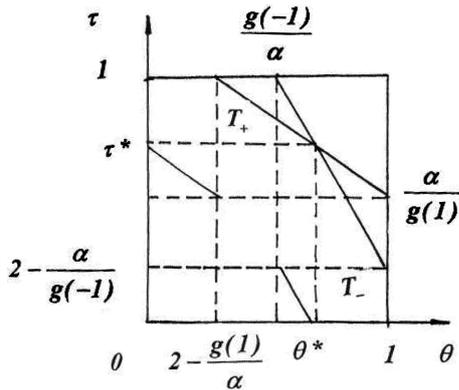


Рис. 3. Совместная диаграмма графиков для отображений  $T_+$  и  $T_-$  в области № 11

$$\theta = \theta_{op}(m_1 = 0) = 2 - (g(1) / \alpha),$$

$$\tau = \alpha / g(1) \text{ и } T_- \text{ — } \theta = g(-1) / \alpha /,$$

$$\tau = \tau_{op}(m_2 = 0) = 2 - (\alpha / g(-1)).$$

Рассмотрим разности координат указанных точек

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \theta_{op}(m_1 = 0) - (g(-1) / \alpha) = \\ &= 2 - (g(1) + g(-1)) / \alpha \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \tau_{op}(m_2 = 0) - (\alpha / g(1)) = \\ &= 2 - (\alpha(g(1) + g(-1)) / g(1)g(-1)) \end{aligned} \quad (14)$$

Для случая линейной характеристики  $g(x)$  из (13), (14) находим, что

$$\Delta_1 = 2(1 - (1 / \alpha)), \Delta_2 = 2(1 - (\alpha / (1 - S^2))). \quad (15)$$

Из (15) следует, что  $\Delta_1 = 0$  при  $\alpha = 1$  и  $\Delta_2 = 0$  при  $\alpha = 1 - S^2$ .

На плоскости  $\alpha, S$  границы  $\Delta_1 = 0$  и  $\Delta_2 = 0$  не пересекаются, но имеют одну общую точку  $\alpha = 1, S=0$ , лежащую на стыке границ области управляемости СЧ (рисунок 2). За счет этого, как нетрудно удостовериться, случай  $\Delta_1, \Delta_2 > 0$  не реализуется. Но это, в свою очередь, означает, что пересечение графиков отображений  $T_+$  и  $T_-$  возможно только трех типов. В первом случае пересекаются графики только в базовых интервалах непрерывности, т.е. так, как это показано на рисунке 3. Во втором случае при  $m_1 \geq 1$  базовый участок непрерывности отображения  $T_-$  пересекается с графиком отображения  $T_+$  в произвольном месте. И в третьем случае при  $m_2 \geq 1$  график в базовом участке непрерывности отображения  $T_+$  пересекается с графиком отображения  $T_-$  в произвольном месте. При всех трех указанных типах пересечения графиков возможно попадание графика базового участка непрерывности в разрыв графика сопредельного отображения, например, так, как это показано на рисунке 4, получающемся непрерывной трансформацией

рисунка 3. В этом случае простая неподвижная точка произведения отображений отсутствует, но существуют кратные циклы, переходящие на границах существования циклов всевозможной сложности в движения, устойчивые по Пуассону [9]. Для определения условий существования кратных циклов отображения  $T$  отметим, что на плоскости параметров  $\alpha, S$  уравнения границ таких областей могут быть получены с помощью следующих простых рассуждений. Для отображения  $T_+$  участок разрывности, лежащий между участками непрерывности с номерами  $m_1$  и  $m_1 \geq 1$  располагается на плоскости  $(\theta, \tau)$  между точками  $(\theta_{op}(m_1), 1)$  и  $(\theta_{op}(m_1), \alpha / g(1))$ , и поэтому границы существования кратных циклов соответствуют условию прохождения графика базового участка непрерывности отображения  $T_-$  через указанные точки. Отсюда находим, что кратные циклы отображения  $T = T_- T_+$ , соответствующие вышеуказанному типу пересечения графиков отображений  $T_+$  и  $T_-$  существуют в интервале  $\underline{\alpha}_p(m_1) \leq \alpha \leq \bar{\alpha}_p(m_1)$ , где

$$\bar{\alpha}_p(m_1) = \frac{2g(-1) + (1 + m_1)g(1)}{(2 + m_1)g(1) + g(-1)} g(1), \quad (16)$$

$$\underline{\alpha}_p(m_1) = \frac{(1 + m_1)g(1) + g(-1)}{2 + m_1}. \quad (17)$$

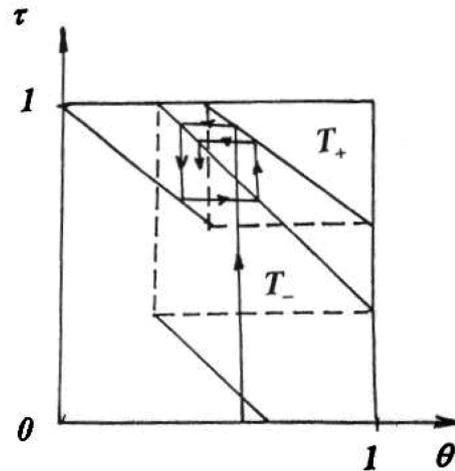


Рис. 4. Пересечение графиков отображений  $T_+$  и  $T_-$  в общем случае

В качестве конкретного примера отметим, что для линейной  $g(x)$   $\underline{\alpha}_p(m_1 = 0) = 1$ ,

$$\bar{\alpha}_p(m_1 = 0) = (3 - S)(1 + S) / (3 + S)$$

и  $\max_S \Delta \alpha_0 = \bar{\alpha}_p(m_1 = 0) - \underline{\alpha}_p(m_1 = 0)$  достигается при  $S=0,5$ , при этом  $\bar{\alpha}_p(m_1 = 0) = 1,07, \Delta \alpha_0 = 0,07$ . Для следующего по номеру  $m_1$  разрыва имеем  $\underline{\alpha}_p(m_1 = 1) = 1 + (S / 3), \bar{\alpha}_p(m_1 = 1) = 2(1 + S) / (2 + S)$ , причем  $\max_S \Delta \alpha_0 = \bar{\alpha}_p(m_1 = 1) - \underline{\alpha}_p(m_1 = 1)$  достигается при  $S=0,45$ , при этом  $\underline{\alpha}_p(m_1 = 1) = 1,15, \bar{\alpha}_p(m_1 = 1) = 1,18, \Delta \alpha_1 = 0,03$ .

Для отображения  $T_+$  участок разрывности, лежащий между участками непрерывности с номерами  $m_2$  и  $m_2 + 1$  располагается на плоскости  $(\theta, \tau)$  между точками  $((g(-1) / \alpha), \tau_{op}(m_1))$  и  $(1, \tau_{op}(m_1))$ . Подставляя координаты этих точек в уравнение (3) при  $m_1=0$ , т.е. в уравнение базового участка непрерывности, находим, что соответствующий этому случаю интервал существования кратных циклов задается неравенством  $\underline{\alpha}_p(m_2) \leq \alpha \leq \bar{\alpha}_p(m_2)$ , где

$$\bar{\alpha}_p(m_2) = \frac{(2 + m_2)g(-1)g(+1)}{g(-1)(1 + m_2)g(+1)}, \tag{18}$$

$$\underline{\alpha}_p(m_2) = \frac{g(-1) + (2 + m_1)g(+1)}{2g(-1) + (1 + m_1)g(+1)} g(-1). \tag{19}$$

Для линейной  $g(x)$   $\underline{\alpha}_p(m_2 = 0) = (3 + S)(1 - S) / (3 - S)$ ,  $\bar{\alpha}_p(m_2) = 1 - S^2$ , и  $\max_S \Delta\alpha_0 = \bar{\alpha}_p(m_2 = 0) - \underline{\alpha}_p(m_2 = 0)$  достигается при  $S=0,36$ , при этом  $\underline{\alpha}_p(m_2 = 0) \approx 0,81\bar{\alpha}_p(m_2 = 0) \approx 0,87, \Delta\alpha_0 = 0,06$ .

Отметим ряд общих свойств поведения границ (14)–(17) на плоскости  $\alpha, S$ . При  $S=0$   $\underline{\alpha}_p(m_1) = \bar{\alpha}_p(m_1) = \underline{\alpha}_p(m_2) = \bar{\alpha}_p(m_2) = 1$  и, следовательно, на плоскости  $\alpha, S$  при  $S \rightarrow 0$  все интервалы существования кратных циклов сжимаются и сходятся в точку  $(0,1)$ . При  $S=1$   $\underline{\alpha}_p(m_2) = \bar{\alpha}_p(m_2) = 0$ , а  $\underline{\alpha}_p(m_1) = \bar{\alpha}_p(m_1) = 2(1 + m_1) / (2 + m_1)$ , т.е. при  $m_1=0, 1, \dots$  образуют ряд  $1; 4/3; 1,5; \dots$ , сходящийся к значению  $\alpha = 2$ . Далее, поскольку  $sign(\underline{\alpha}_p(m_1) - 1) = sign(Sm_1)$ , а  $sign(1 - \bar{\alpha}_p(m_2)) = signS$ , области существования кратных циклов с индексом  $m_1$  располагаются на плоскости  $\alpha, S$  при  $\alpha > 1$  (исключение составляет случай  $m_1=0$ , когда левая граница области с  $m_1=0$  совпадает с линией  $\alpha = 1, 0 \leq S \leq 1$ ), а области су-

ществования кратных циклов с индексом  $m_2$  располагаются при  $\alpha < 1$ . Более того, поскольку  $\partial\bar{\alpha}_p(m_1) / \partial m_1, \partial\underline{\alpha}_p(m_1) / \partial m_1 > 0$ , а  $\partial\bar{\alpha}_p(m_2) / \partial m_2, \partial\underline{\alpha}_p(m_2) / \partial m_2 < 0$ , то при любом  $S$  с увеличением  $m_1$  области существования циклов на плоскости  $\alpha, S$  смещаются вправо, а с увеличением  $m_2$  — влево, т.е. так, как это показано на рисунке 5.

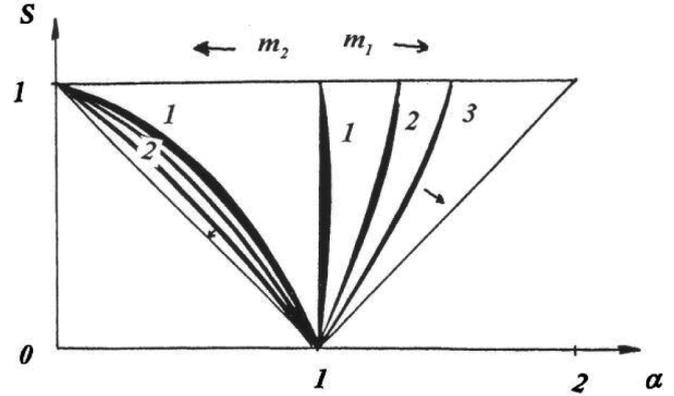


Рис. 5. Области существования циклов на плоскости  $\alpha, S$

**Заключение**

Наличие в динамике СЧ счетного множества поддиапазонов, в которых фаза появления управляющих импульсов модулирована циклами низкочастотной повторяемости означает, что принцип импульсного частотно-фазового детектирования, обеспечивая единственность и устойчивость предельной траектории в широком частотном диапазоне, в определенных поддиапазонах интервала управляемости предъявляет чрезвычайно жесткие условия к фильтрации низкочастотных составляющих спектра выходного сигнала УГ.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Емельянов С. В., Уткин В. И. и др. Теория систем с переменной структурой. — М.: Наука, 1970. — 592 с.
2. Неймарк Ю. И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. — М.: Наука, 1972. — 472 с.
3. Горюнов В. И. Исследование динамики системы управления с многопозиционной широтно-импульсной модуляцией. // Математическое моделирование и оптимальное управление: Вестник ННГУ. — Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2003. — Вып.1(26). — С.207–215.
4. Антоновская О. Г., Горюнов В. И. Об особенностях методики исследования динамики системы с широтно-импульсной модуляцией и запоминанием сигнала управления. // Вестник Нижегород. ун-та. — Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2008. — №6. — С. 135–140.
5. Левин В. А., В. Н. Малиновский, С. К. Романов. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. — М.: Радио и связь, 1989. — 232 с.
6. Антоновская О. Г., Бесклубная А. В. Построение математической модели синтезатора частоты с импульсным частотно-фазовым детектором, использующей фазовые подпространства. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. «Естественные и технические науки». — 2024. — № 8. — С. 61–66.
7. Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний. — М.: Физматгиз, 1959. — 915 с.
8. Антоновская О. Г., Горюнов В. И. Разрывное точечное отображение прямой в прямую в динамике синтезаторов частот с импульсным частотно-фазовым детектированием. // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. — 2014. — № 1. — С. 15–17.
9. Леонов Н. Н. О точечном преобразовании прямой в прямую. // Изв. Вузов. Радиопизика. — 1959. — № 6. — С. 943–956.

© Антоновская Ольга Георгиевна (olga.antonovskaja@yandex.ru); Бесклубная Антонина Вячеславовна (antbesk@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ФОТОГРАФИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

## APPLICATION OF COMPUTER VISION METHODS FOR AUTOMATING THE PROCESSING OF GEOLOGICAL SAMPLE PHOTOGRAPHS

**D. Vorobev  
R. Semendyaev**

*Summary.* This article presents the development of a text recognition system designed for geological samples in geotechnical laboratories. Geotechnical laboratories often encounter a labor-intensive process when generating electronic records for sample codes, as thousands of tests are conducted each month. To address this issue, we have developed an application that integrates image preprocessing techniques with advanced computer vision algorithms. This combined approach enables the creation of compact files, facilitating the detection and recognition of sample codes. Additionally, the system automates the archiving of accurately identified geological sample images on personal computers. As a result, this application significantly reduces the time and effort required by highly skilled personnel for archiving and managing geological sample images, thereby improving overall efficiency.

*Keywords:* automation, image preprocessing, computer vision, geological samples, text recognition.

**Воробьев Данила Вячеславович**

Санкт-Петербургский Политехнический  
университет Петра Великого  
daniila\_vorobev\_02@list.ru

**Семендяев Родион Юрьевич**

кандидат технических наук, научный сотрудник  
отдела инновационных технологий и цифровых систем,  
филиал АО «Россети ТЦ» — СибНИИЭ  
semendyaev@ntcsib.ru

*Аннотация.* Статья посвящена разработке системы распознавания текста на геологических образцах в геотехнических лабораториях. В настоящее время многие лаборатории сталкиваются с трудозатратным процессом создания электронной копии шифра образца (в месяц может проводиться тысячи испытаний). Для решения данной задачи было разработано приложение, в основе которого лежат как методы предварительной обработки изображений, так и алгоритмы машинного зрения. Благодаря комбинированному подходу удалось сделать компактные файлы для последующего детектирования текста шифров, его распознавания и автоматического создания архива корректно идентифицированных изображений геологических образцов на персональном компьютере. Разработанное приложение позволило сократить время высококвалифицированного персонала при решении задачи архивации и хранения изображений геологических образцов. Проведенное тестирование показало высокую точность распознавания текста, что делает разработанное решение эффективным инструментом для автоматизации обработки данных в геотехнических лабораториях.

*Ключевые слова:* автоматизация, предварительная обработка изображений, компьютерное зрение, геологические образцы, распознавание текста.

### Актуальность

В эпоху наступления 4 промышленной революции геотехнические лаборатории имеют проблемы в управлении различными форматами данных и отсутствием единых стандартов для их хранения и обработки [1-3]. Эти трудности приводят к снижению эффективности работы и увеличению вероятности ошибок, например фотографии геологических образцов, полученные в ходе физико-механических испытаний, при переносе на компьютер теряют идентификацию, что затрудняет их сортировку и поиск.

При выборе инструментов для решения задачи итеративного распознавания текста с фотографий и последующего изменения имени файла на распознанный текст, важно учитывать специфику и требования проекта. Это особенно важно, поскольку обработка фотографий является критическим шагом в создании архива,

который является фундаментальной составляющей проекта. Наиболее известные программные продукты для распознавания текста: ABBYY FineReader, Adobe Acrobat Pro и Tesseract не подходят для данной задачи по следующим причинам:

- ABBYY FineReader — коммерческое ПО, что ограничивает его использование в проектах с ограниченным бюджетом. Данное ПО обладает широким функционалом и сложной системой настроек, что избыточно для задачи распознавания шифров образцов и переименования файлов в соответствии с данным шифром.
- Adobe Acrobat Pro ориентирован на работу с PDF, что делает его менее эффективным для обработки фотографий. Высокая стоимость лицензии также ограничивает его доступность для небольших проектов.
- Tesseract требует тщательной предобработки изображений для высокой точности, что может

потребовать дополнительных усилий. Он не предоставляет встроенные инструменты для автоматизации, такие как переименование файлов.

Таким образом, для решения задачи автоматизации распознавания и переименования файлов требуется разработка специализированного приложения, которое обеспечат необходимую гибкость и функциональность.

В данной статье рассматривается использование методов компьютерного зрения для автоматизации обработки фотографий геологических образцов, обсуждаются технические аспекты предварительной обработки фотографий и разработки графического интерфейса пользователя, их практическое применение и влияние на работу лабораторий.

### Необходимость в фотодокументировании геологических образцов

Фотодокументация геологических образцов является важным элементом геотехнических исследований, поскольку она предоставляет визуальные данные, необходимые для всестороннего анализа и интерпретации результатов физико-механических испытаний. Согласно стандартам [4, 5], фотографическая документация должна проводиться до и после испытаний для подтверждения состояния образцов. Эти визуальные данные фиксируют фактическое состояние образцов и служат основой для определения параметров моделирования, которые максимально точно воспроизводят реальные условия.

Для геологов фотографии также важны для подтверждения или уточнения литологического типа образца [6]. Литология позволяет определить механические и физические свойства грунтов, что влияет на выбор методов расчета и проектирования.

Фотографический анализ может выявить особенности, не заметные при визуальном осмотре, такие как микротрещины или включения, которые существенно влияют на поведение материала под нагрузкой.

### Предварительная обработка изображения

Предварительная обработка данных является важным этапом в любом исследовательском проекте, связанном с анализом изображений [7–9]. Этот этап необходим для улучшения качества данных, устранения шума и артефактов, а также для подготовки данных к дальнейшему анализу. Фотография без предварительной обработки представлена на рисунке 1.

Существует множество методов предварительной обработки изображений, которые могут быть использованы в зависимости от конкретных задач и характери-

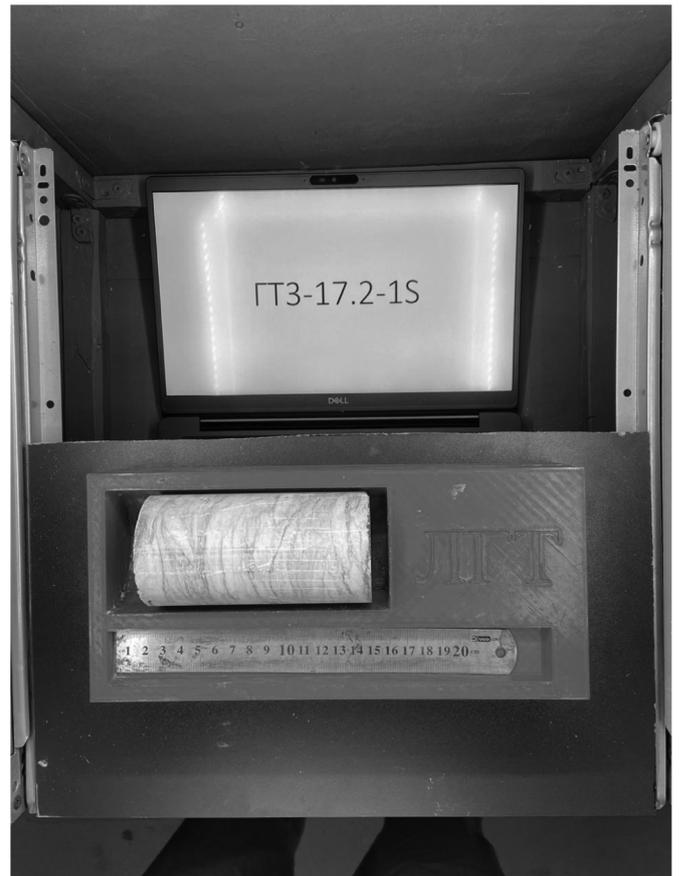


Рис. 1. Фотография без предварительной обработки

стик данных. Классическими преобразованиями являются: преобразование изображения к оттенкам серого, размытие по Гауссу и пороговое преобразование.

Цветное изображение обычно представлено в формате BGR (Blue, Green, Red), где каждый пиксель имеет три значения, соответствующие интенсивности синего, зеленого и красного цветов. Стандартная фотография геологического образца имеет разрешение 4160x3120 и занимает в памяти 3,2 Мбайт.

Преобразование в оттенки серого заключается в сведении этих трех значений к одному, которое будет представлять яркость пикселя. Для преобразования цветного изображения в оттенки серого согласно стандарту [10] используется следующая формула:

$$Y = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$$

Где  $R$ ,  $G$ , и  $B$  — это значения интенсивности красного, зеленого и синего цветов соответственно, а  $Y$  — это значение яркости в оттенках серого.

Результат преобразования изображения к оттенкам серого представлен на рисунке 2.

Гауссовое размытие используется для сглаживания изображения и уменьшения шума [11]. Это преобразова-



Рис. 2. Изображение в оттенках серого

ние полезно перед выполнением таких задач, как обнаружение краев и сегментация. Этот метод основывается на применении ядра Гаусса к каждому пикселю изображения, которое вычисляется в соответствии с функцией Гаусса:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Где  $G(x, y)$  — значение гауссового фильтра в точке  $(x, y)$ , а  $\sigma$  — стандартное отклонение, определяющее степень размытия.

Формула для вычисления значения пикселя  $I(x, y)$  в результате применения Гауссова размытия определяется следующим образом:

$$I'(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k I(x+i, y+j) \cdot e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Где:  $I(x, y)$  — значение пикселя в исходном изображении,  $I'(x, y)$  — значение пикселя в размытом изображении,  $\sigma$  — стандартное отклонение Гауссова распределения, определяющее степень размытия,  $k$  — радиус ядра Гаусса, который определяет область соседних пикселей, влияющих на результат.

Изображение с применением гауссового размытия представлено на рисунке 3.



Рис. 3. Размытое изображение

Бинаризация основана на сравнении каждого пикселя изображения с заданным пороговым значением [12]. Если значение пикселя выше или равно этому порогу, пиксель присваивается к одному классу (обычно белый), в противном случае — к другому (обычно черный). Это преобразование можно выразить следующим образом:

$$I'(x, y) = \begin{cases} 255, & \text{если } I(x, y) \geq T \\ 0, & \text{если } I(x, y) < T \end{cases}$$

Здесь:  $I(x, y)$  — значение пикселя в исходном изображении в позиции  $(x, y)$ ,  $I'(x, y)$  — значение пикселя в бинаризованном изображении,  $T$  — пороговое значение.

Выбор порогового значения  $T$  является критическим аспектом бинаризации. При съемке с постоянным освещением параметр  $T$  может быть подобран эмпирическим путем, таким образом, чтобы бинаризованное изображение удовлетворяло поставленным требованиям. Бинаризованное изображение представлено на рисунке 4.

Одним из основных методов обнаружения контуров является алгоритм Кэнни [13], который включает в себя несколько ключевых шагов:

1. Гауссово размытие.
2. Операторы Собеля для вычисления градиентов.

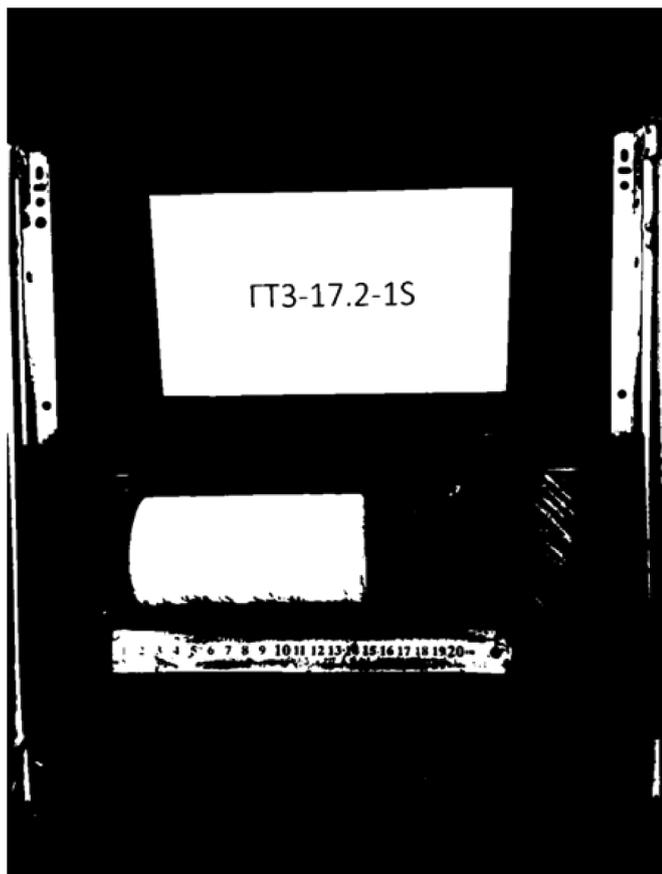


Рис. 4. Бинаризованное изображение

3. Вычисление величины и направления градиента.
4. Подавление не максимумов.
5. Двойная пороговая фильтрация для поиска границ.
6. Трассировка области неоднозначности для отнесения пикселей с промежуточными значениями к границе или их подавлению в противном случае.

Результат сегментации экрана монитора представлен на рисунке 5.

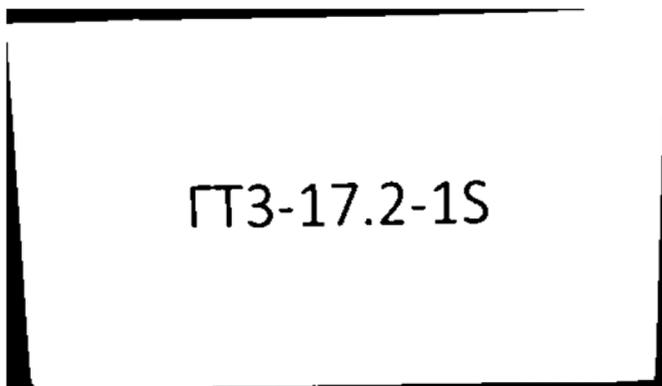


Рис. 5. Вырезанный экран монитора

Получившееся изображение готово к распознаванию. Для извлечения текста с обработанного изо-

бражения, приведенного к бинаризованному виду, используется библиотека «EASY OCR» [14]. В Таблице 1 представлены результаты преобразований изображения, включая изменения веса файла и затраченное время на каждом этапе. Можно заметить, что описанные выше преобразования позволили уменьшить размер файла в 41 раз, что существенно ускоряет извлечение информации с изображения.

Таблица 1.

Эффективность преобразования изображений

Преобразование	Вес изображения, КВ	Затраченное время, с
Изображение без обработки	3221.65	–
Изображение в оттенках серого	2863.38	0.13
Размытое изображение	1691.38	0.12
Черно-белое изображение	271.73	0.07
Сегментированное изображение	77.41	0.01

#### Рабочий процесс разработанного приложения

Разработанное приложение предназначено для упрощения поиска фотографий в папке путем автоматического переименования файлов на основе распознанного текста шифра, отображаемого на мониторе электронного устройства. Разработка архитектуры приложения осуществлялась с общепринятыми подходами и парадигмами, которые освещены в [15–17]. Рабочий процесс разработанного приложения представлена на рисунке 6.

Функционал приложения включает в себя следующие возможности:

1. Использование компьютерного зрения для итеративной обработки фотографий.
2. Распознавание текста шифра на русском и английском языках.
3. Требование постоянного освещения в камере или боксе во время фотографирования для обеспечения высокого качества распознавания текста.
4. Способность распознавать текст шифра, отображаемый на мониторе электронного устройства, независимо от типа шрифта, используемого для его отображения.

Выбор языка программирования Python [18,19] для разработки приложения обусловлен его обширной экосистемой библиотек, таких как PyQt5 [20], OpenCV, EASY OCR, что ускоряет интеграцию функций распознавания текста. Легкость синтаксиса Python облегчает поддержку и развитие кода, а его кроссплатформенность расширяет доступность приложения. Широкая поддержка сообщества и доступ к современным технологиям делают Python оптимальным выбором для задач автоматизации и обработки изображений.

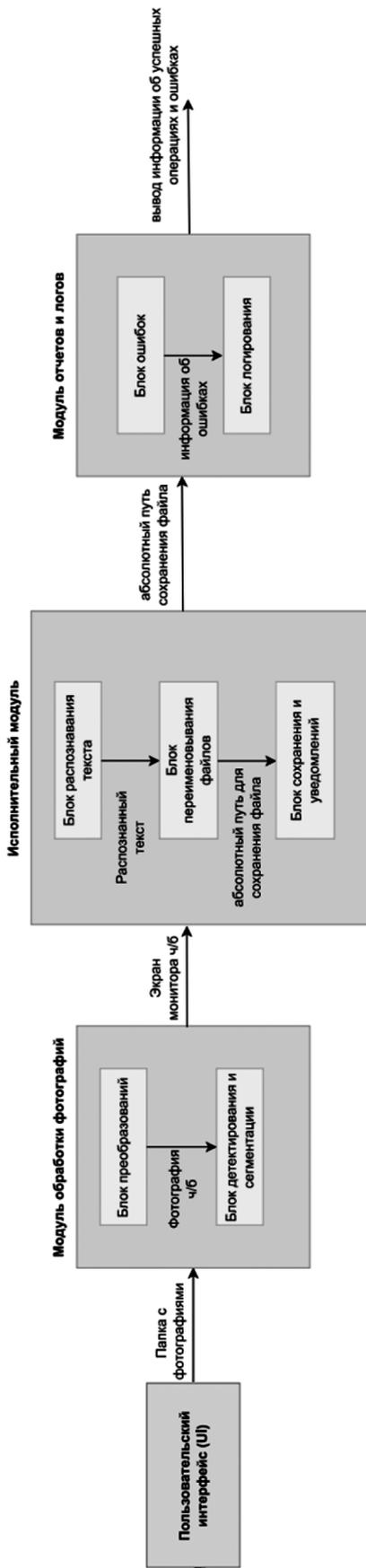


Рис. 6. Рабочий процесс приложения

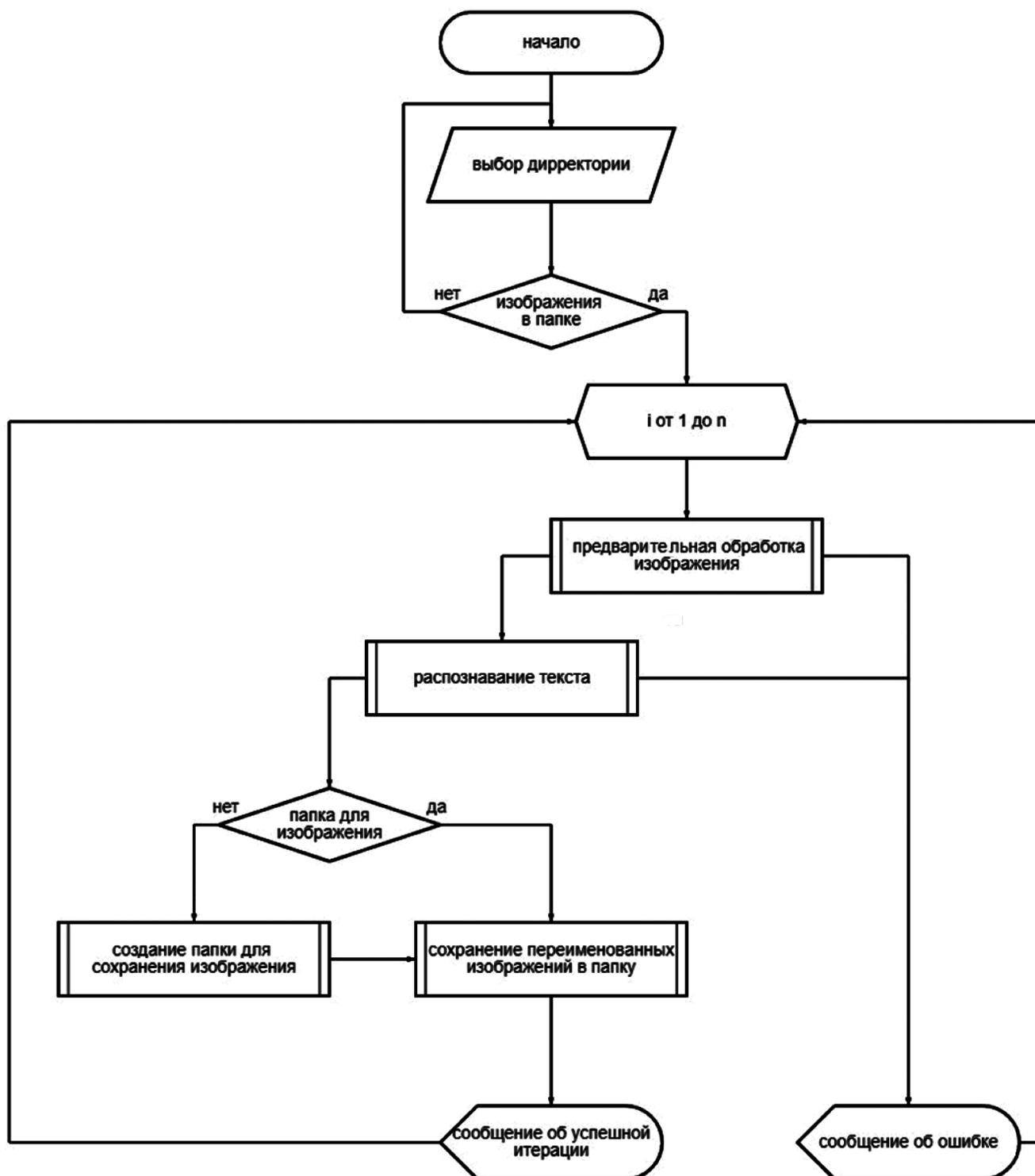


Рис. 7. Блок схема приложения

Существующие фреймворки для разработки программных комплексов имеют разную степень настройки конфигурации приложения. Поскольку разработанная программа не требует от пользователя большого количества операций для запуска обработки фотографий, было принято решение воспользоваться фреймворком PyQt5. Этот фреймворк прост, удобен и позволяет до-

статочно быстро создать приложение, что очень важно в условиях ограниченного времени.

Основными функциональными элементами приложения являются:

1. Кнопка открытия проводника для выбора необходимой директории
2. Кнопка запуска

3. Шкала прогресса для отображения хода выполнения программы
4. Диалоговое окно для вывода сообщений пользователю

Также интерфейс имеет вкладку меню в верхнем левом углу (красная рамка), в котором пользователь может остановить выполнение программы, если есть такая необходимость и вкладка помощь, которая позволяет открыть диалоговое окно со справочной информацией о требованиях и функциональности приложения.

После выбора директории и нажатия кнопки 'ЗАПУСТИТЬ' начинается процесс обработки фотографий. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 7.

### Заключение

В результате работы был проведен анализ методов предварительной обработки изображений, исследо-

ваны возможности различных библиотек компьютера зрения, рассмотрены разнообразные языки программирования и паттерны создания архитектуры приложения. Это позволило разработать приложение на базе библиотеки «EASY OCR», с эффективным (критерий эффективности — быстродействие приложения) процессом переименования файлов и архивации их на персональном компьютере в упорядоченных директориях.

Кроме того, автоматизация обработки фотографий привело к исключению человеческого фактора из этапов обработки изображений, минимизировало затраты времени и ресурсов, что, в свою очередь, привело к повышению эффективности работы и снижению операционных издержек. Таким образом, внедрение данного приложения не только ускоряет обработку фотографий, но и приносит значительный экономический эффект за счет автоматизации рутинных задач.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Разводовский Д.Е., Шулятьев С.О., Ставницер Л.П. Применение BIM в геотехнике // *Жилищное строительство*. 2018. № 11. С. 3–8.
2. Hamman ECF, du Plooy DJ, Seery J (2017) Data management and geotechnical models. Proc. Deep Mining 2017: 8th Deep & High Stress Mining Cont. Perth, ACG: 401–487.
3. В. Neil & Reynolds Mark & Nicoll Sam & Bran Dinella. (2018). Geotechnical data management and visualization systems: meeting the data challenge of the 21st century and maximizing value for open pit mines.
4. ASTM D7012-14. Стандартные методы испытаний для сжимающей прочности и модуля упругости породных образцов в режиме одноосного и трёхосного сжатия. — Вест Коншохокен: ASTM International, 2014. — 9 с. — (ASTM International Standard).
5. ГОСТ 21153.2–84. Грунты. Методы лабораторного определения прочности по результатам компрессионных испытаний. — Введ. 01.01.1986. — М.: Изд-во стандартов, 1984. — 9 с.
6. ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация. — Введ. 01.07.2012. — М.: Стандартиформ, 2012. — 43 с.
7. Фокин Д.С. Предварительная обработка изображений сцены для выделения искомым объектов / Д.С. Фокин, С.Н. Карабцев, Т.С. Рейн // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2020. — №3 (93). — URL: <https://research-journal.org/archive/3-93-2020-march/predvaritelnaya-obrabotka-izobrazhenij-sceny-dlya-vydeleniya-iskomykh-obektov> (дата обращения: 02.10.2024). — doi: 10.23670/IRJ.2020.93.3.003.
8. Хорн Б.К.П. Зрение роботов. — М.: Мир, 1989. — 487 с.
9. Техническое зрение роботов / под ред. А. Пью. — М.: Машиностроение. — 1987. — 320 с.
10. ITU-R Rec. BT.709-6. Параметры вещательного телевидения высокой четкости (HDTV) для студий и международного обмена программами. — Женева: Международный союз электросвязи (ITU), 2015. — 24 с.
11. Vazhitov, Sergey Denisovich. О восстановлении параметра размытия в задаче оптического секционирования. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 20–27, mar. 2022. ISSN 2411–147
12. Горитов А.Н. Предварительная обработка изображений в системах технического зрения / А.Н. Горитов // *Доклады ТУСУР*. — 2018. — Т. 21, № 4–1. — С. 53–58. DOI: 10.21293/1818–0442–2018-21-4-1-53-58.
13. Гизатуллин З.М. Метод обнаружения контуров на основе весовой модели изображения / З.М. Гизатуллин, С.А. Ляшева, О.Г. Морозов, М.П. Шлеймович // *Компьютерная оптика*. — 2020. — Т. 44, № 3. — С. 393–400. — DOI: 10.18287/2412–6179-CO-615.
14. Jaided M., & Team. (2020). EasyOCR: Ready-to-use OCR with 80+ supported languages. Retrieved from <https://github.com/JaidedAI/EasyOCR>
15. Джонсон Р. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. М.: Питер, 2013. 368 с. ISBN: 978-5-459-01720-5
16. Фаулер М. Шаблоны архитектуры корпоративных приложений. Бостон: Addison-Wesley Professional, 2012. 560 с. ISBN: 978-0321127426
17. Цербренко К.Н. Совершенствование архитектуры предприятия на основе функционально-структурного моделирования // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2022. № 7–2. С. 211–214. DOI: 10.24412/2500–1000-2022-7-2-211–214
18. Lutz M. (2013). *Learning Python* (5th ed.). O'Reilly Media.
19. Van Rossum G., Warsaw B., & Coghlan N. (2001). PEP 8 — Style Guide for Python Code. Python Software Foundation. Retrieved from <https://peps.python.org/pep-0008/>
20. Riverbank Computing. (2023). *PyQt5 Documentation*. Retrieved from <https://www.riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro>

© Воробьев Данила Вячеславович (danila\_vorobev\_02@list.ru); Семендяев Родион Юрьевич (semendyaev@ntcsib.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ОПОВЕЩЕНИЙ

## ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF MONITORING AND NOTIFICATION SYSTEMS

**B. Goryachkin  
L. Perlin**

*Summary. Problem statement.* Modern monitoring and notification systems face a growing volume of collected metrics. The number of devices, and consequently the amount of data in such systems, has increased significantly, especially with the rise of the Internet of Things (IoT). The number of monitored objects has grown exponentially. Operators in these systems must track an increasing number of potential notifications, which increases the cognitive load on the operator. In the current context, a monitoring system must not only process large volumes of data quickly but also present it in an intuitive and comprehensible form to reduce the user's cognitive burden.

*Purpose.* The primary goal of this research is to analyze the processes within monitoring and notification systems, including information flows, load, performance, timing, and frequency of processes, with attention to the cognitive load on human operators and the characteristics of the information delivered to them.

*Results.* Information flows in monitoring systems and their subprocesses have been analyzed. A test environment was built to simulate the increasing number of monitored objects and notifications. The experiments demonstrated that sending notifications exclusively upon state changes reduces redundancy in notifications and aligns them with the information entropy curve, representing the amount of information. Adjusting notification conditions toward less equiprobable triggers significantly reduces the number of necessary notifications. Introducing a waiting period for condition checks reduces the operator's cognitive load but increases the system's reaction time. As the number of monitored objects grows, optimizing the data collection frequency minimizes overall system delays in detecting and sending notifications while reducing the operator's workload associated with processing and extrapolating outdated alerts.

*Practical significance.* The described criteria and methods for ensuring effective settings have practical significance for configuring the frequency of monitoring system subprocesses, designing notification conditions, and implementing mechanisms for their logging and delivery. These findings are applicable to monitoring systems in industrial and IT infrastructure contexts.

*Keywords:* metric, monitoring, notification, monitoring system, notification system, cognitive load, information entropy, monitored object.

**Горячкин Борис Сергеевич**

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

**Перлин Леонид Вадимович**

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

*Аннотация. Постановка проблемы.* Современные системы мониторинга и оповещений сталкиваются с ростом объема собираемых метрик. Количество устройств и как следствие данных в системах мониторинга увеличивается, с появлением интернета вещей количество объектов мониторинга кратно увеличилось. Оператору в данной системе нужно отслеживать всё большее количество возможных оповещений, что увеличивает когнитивную нагрузку на оператора. В современных условиях система мониторинга должна не только быстро обрабатывать большие данные, но и предоставлять их в понятной форме, снижая когнитивную нагрузку на пользователя.

*Цель.* Основной целью исследования является проанализировать процессы системы мониторинга и оповещений, информационные потоки, нагрузку, производительность, время и частоту процессов с вниманием к когнитивной нагрузке на человека-оператора, характеристикам информации, предоставляемой оператору.

*Результаты.* Разобраны информационные потоки системы мониторинга, представлены подпроцессы. Собран тестовый стенд, на котором смоделировано увеличение количества объектов мониторинга, оповещения. В ходе эксперимента показано как отправка уведомлений исключительно об изменении состояния оповещения позволяет снизить избыточность отправляемых уведомлений, приближает уведомления к графику информационной энтропии — количеству информации, корректирование условий срабатывания оповещений в сторону менее равновероятных приводит к значительному снижению числа необходимых уведомлений. Период ожидания для проверки условий уменьшает когнитивную нагрузку оператора, но увеличивает время реакции системы. При увеличении количества объектов мониторинга изменение частоты сбора данных позволяет повысить эффективность системы, снизить общую задержку системы на обнаружение и отправку оповещения, а также нагрузку на оператора, связанную с взаимодействием и экстраполяцией устаревших оповещений.

*Практическая значимость.* Описанные критерии и методы для обеспечения более эффективных настроек представляют практическую ценность при конфигурации частоты выполнения подпроцессов системы мониторинга, проектировании условий оповещений, механизмов их фиксации и отправки, что применимо для систем мониторинга промышленности, IT-инфраструктуры.

*Ключевые слова:* метрика, мониторинг, оповещение, когнитивная нагрузка, информационная энтропия, объект мониторинга.

## Введение

**Р**ост количества собираемых метрик в современных системах мониторинга и оповещений ставит задачу обработки большого количества информации. Современные системы мониторинга являются примером эргатической системы, в которой оператор вынужден постоянно взаимодействовать с поступающими оповещениями, которые требуют его реакции, а иногда — оперативного принятия решений. Согласно рекомендациям стандарта управления оповещениями ISA18.2[1] оператор может эффективно обработать только одно оповещение за 10 минут. Оператору в данной системе нужно отслеживать всё большее количество возможных оповещений, что увеличивает когнитивную нагрузку на оператора. Чтобы минимизировать вероятность ошибок и повысить эффективность работы оператора, система мониторинга должна не только быстро обрабатывать данные, но и предоставлять их в понятной форме, снижая когнитивную нагрузку на пользователя.

Основной целью исследования является проанализировать процессы системы мониторинга и оповещений, информационные потоки, нагрузку, производительность, время и частоту процессов с вниманием к когнитивной нагрузке на человека-оператора, характеристикам информации, поставляемой оператору.

Система мониторинга позволяет человеку постоянно отслеживать явления и процессы для последующего анализа. Сегодня люди используют современные автоматизированные системы мониторинга. Состояние наблюдаемых процессов описывается набором данных о состоянии объектов наблюдения — метрик. Количество устройств и как следствие данных в системах мониторинга увеличивается, с появлением интернета вещей количество устройств, собирающих информацию,кратно увеличилось [2]. Все чаще используют датчики интернета вещей для сбора критичных для производств показателей [3]. Каждый датчик интернета вещей IoT в рамках производства может являться объектом мониторинга. Также объектом мониторинга может являться часть IT-инфраструктуры веб-приложений, метрики могут собираться с клиентских устройств. Объект мониторинга хранит данные о своем текущем состоянии. Далее он передает данные на сервер, который хранит показатели этого объекта и фиксирует время сбора показателей, что позволяет формировать временные ряды и отслеживать необходимые процессы в динамике.

Для подобной эргатической системы важно учитывать основные свойства и характеристики информации [4], которая поступает человеку-оператору. Количество информации является важнейшей характеристикой информации, используемой в инженерной психологии [5]. Задачей технических устройств является сжатие или

агрегация собранной информации, уменьшение неопределенности системы. Данную меру можно выразить с помощью информационной энтропии Шэннона [6].

## Схема и информационные потоки системы мониторинга

На рис. 1 представлена схема с примером инфраструктуры системы мониторинга. Общий процесс мониторинга можно разделить на следующие периодические процессы:

1. Обнаружение объектов мониторинга — сборщик данных получает список объектов мониторинга для сбора [7].
2. Сбор данных от объектов наблюдения — сборщик данных получает метрики, описывающие состояние объектов мониторинга с помощью запросов
3. Сборщик данных производит запись полученных показателей в СУБД временных рядов [8], фиксируя время сбора, для последующего анализа данных с привязкой ко времени.
4. Экспортер данных отправляет PromQL запросы для получения информации за период времени для последующей проверки данных показателей на предмет соответствия условиям нештатной ситуации
5. Система оповещений проверяет новые значения показателей и при выполнении условий нештатного состояния формирует и отправляет оповещения

Все подпроцессы в данной системе пронумерованы на схеме (рис. 1).

## Получение сборщиком данных информации об актуальных объектах мониторинга

В данном процессе сборщик данных опрашивает систему обнаружения [7] об объектах мониторинга, данные с которых необходимо собрать. Сбор данных происходит с определенной частотой, отправляется HTTP GET запрос и сборщик данных получает список источников в виде массива сетевых адресов. Данный процесс происходит с определенной частотой  $\nu_{\text{обнаружения}}$ , например 1 раз в 15 секунд. В данном процессе определяется количество объектов мониторинга  $N_{\text{объектов мониторинга}}$ , далее сборщик данных в последующем будет опрашивать объекты мониторинга исходя из этого списка (рис. 2).

## Сбор показателей объектов мониторинга

Сборщик данных отправляет запросы, чтобы собрать данные о текущем состоянии наблюдаемых объектов. Сборщик посылает  $N_{\text{объектов мониторинга}}$  запросов для получения состояния каждого из объектов. Выполнение данного процесса происходит с настраиваемой частотой

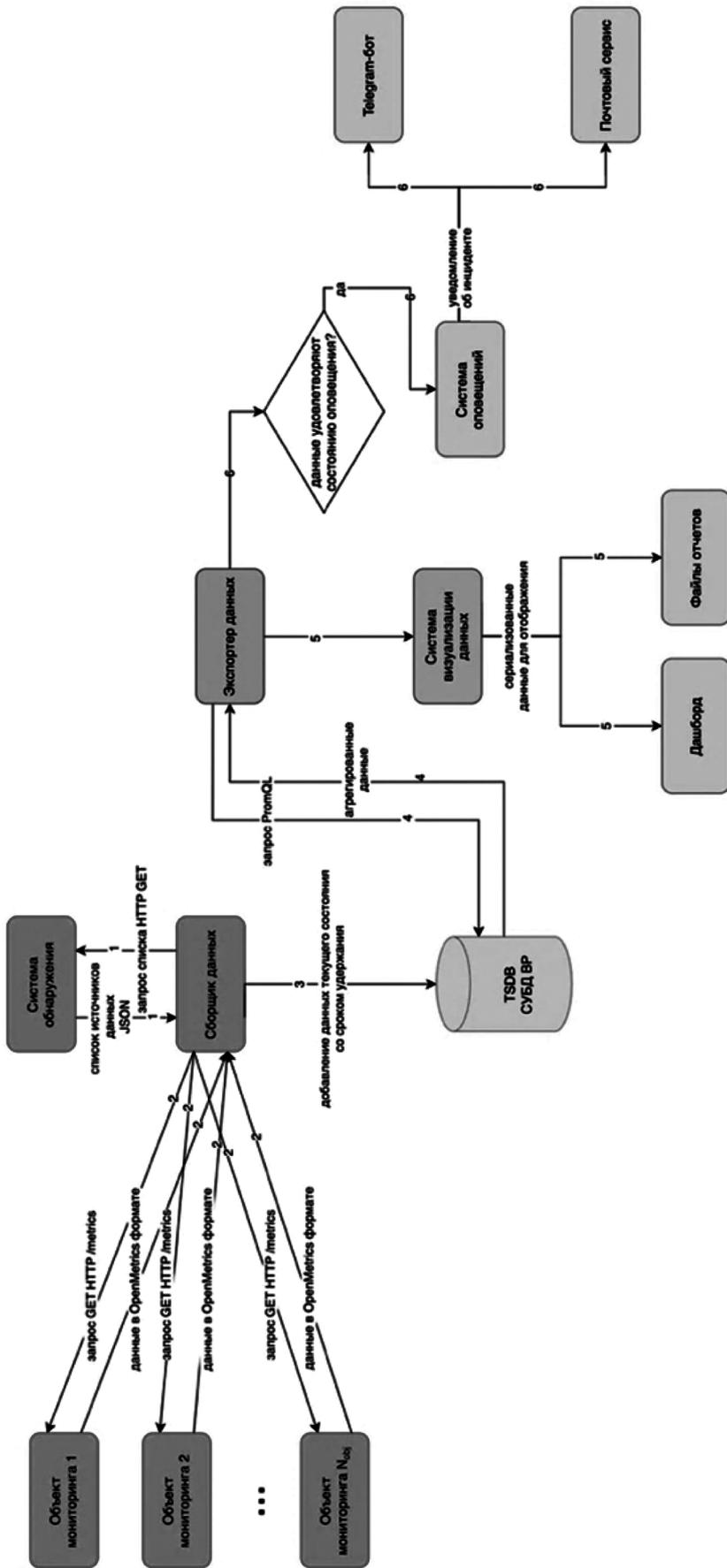


Рис. 1. Общая схема инфраструктуры системы мониторинга и оповещений

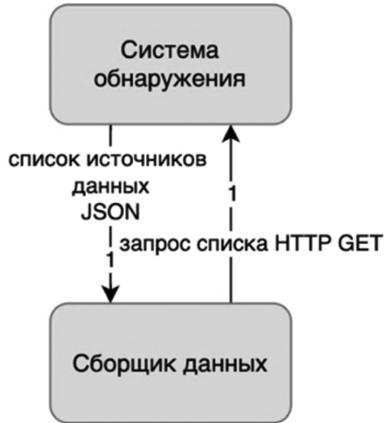


Рис. 2. Схема подпроцесса получения сборщиком данных информации об объектах мониторинга

$V_{\text{сбора}}$ . В ответ каждый из источников отправляет данные о текущем состоянии в формате OpenMetrics [12] (рис. 3).

**Количество метрик в системе**

Для примера был выбран один из популярных стандартов формата метрик — OpenMetrics [12], объекты мониторинга передают информацию о своем состоянии в этом формате. Формат OpenMetrics подразумевает со-

бытия. У каждого объекта есть конечное количество базовых событий, у каждого события есть метки, позволяющие более точно классифицировать событие. У каждой метки есть конечное количество возможных состояний (рис. 4).

В таком случае для одного объекта мониторинга общее количество метрик для одного объекта мониторинга можно посчитать как:

$$N_{\text{метрик}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{базовых событий}}} \prod_{j=1}^{N_{\text{меток } i}} N_{\text{состояний}}(i, j) \quad (1)$$

где:  $N_{\text{метрик}}$  — количество метрик объекта мониторинга;  $N_{\text{базовых событий}}$  — количество возможных базовых событий объекта;  $N_{\text{меток } i}$  — количество меток события  $i$ ;  $N_{\text{состояний}}$  — количество состояний метки  $j$  события  $i$ ;

Получив конечное количество метрик для одного объекта наблюдения, можно посчитать объем данных для одного объекта наблюдения:

$$V_{\text{данных}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{метрик}}} (V_{\text{названия}} + N_{\text{меток } j} \cdot V_{\text{метки}} + V_{\text{значения}}) \quad (2)$$

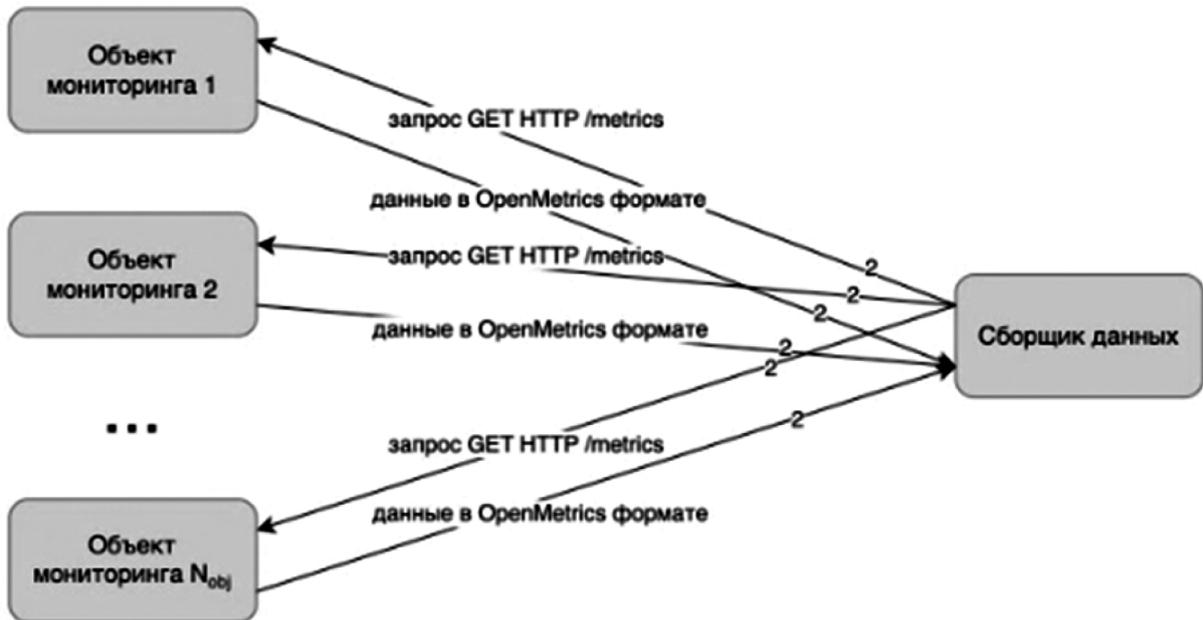


Рис. 3. Схема подпроцесса сбора показателей

```
acme_http_router_request_seconds_sum{path="/api/v1",method="GET"} 9036.32
acme_http_router_request_seconds_count{path="/api/v1",method="GET"} 807283.0
acme_http_router_request_seconds_created{path="/api/v1",method="GET"} 1605281325.0
acme_http_router_request_seconds_sum{path="/api/v2",method="POST"} 479.3
acme_http_router_request_seconds_count{path="/api/v2",method="POST"} 34.0
acme_http_router_request_seconds_created{path="/api/v2",method="POST"} 1605281325.0
```

Рис. 4. Пример данных в формате OpenMetrics

где:  $V_{\text{данных}}$  — объем данных состояния одного объекта мониторинга, сериализованных в OpenMetrics формат в битах;  $N_{\text{метрик}}$  — количество метрик объекта мониторинга;  $V_{\text{названия}}$  — объем данных названия метрики в битах;  $N_{\text{меток } i}$  — количество меток метрики  $i$ ;  $V_{\text{метки}}$  — объем данных названия метки в битах;  $V_{\text{значения}}$  — объем данных закрепленного за меткой значения в битах;

### Запись текущих показателей в СУБД ВР

В рассматриваемой системе используется СУБД временных рядов (TSDBMS), которая является специализированной СУБД для хранения временных рядов, каждая запись в такой базе данных связана с временной меткой. Примерами современных СУБД ВР являются Prometheus [12], Graphite [13], они оптимизированы для работы с данными временных рядов [10]. В случае с временными рядами схема данных известна заранее, итог сохраненных данных за период наблюдения есть временной ряд для каждой метрики.

Это отражается и в запросах на выборку данных, каждая из которых зависит от временных показателей, для более эффективной обработки запросов СУБД ВР строит индексы, основанные на временных метках.

Данные добавляются с большой частотой, например каждую секунду. То есть СУБД должна часто дополнять существующие ряды, однако данные приходят в упорядоченном порядке, это позволяет отказаться от постоянной передачи времени сбора, в описанном выше примере входных данных (рис. 4) видно, что данных о времени сбора нет, время добавляется автоматически, что упрощает добавление новых записей.

Особенностью также является срок удержания данных — данные автоматически хранятся определенное время, например: 15 дней в случае Prometheus. Это позволяет автоматически удалять старые неактуальные данные.

Также для СУБД ВР характерен процесс компактизации — процесс объединения мелких сегментов временных рядов в более крупные, например, объединение 10 записей, сделанных каждую секунду, в одну запись, которая отражает усреднённое или агрегированное значение за 10 секунд. Эти особенности делают TSDBMS идеальным выбором для систем мониторинга, где требуется быстрая запись, чтение и анализ временных рядов.

После сбора метрик с конечных точек всех объектов наблюдения сборщик данных записывает данные в СУБД ВР, добавляются сведения о новых значениях отслеживаемых показателей. СУБД ВР сохраняет их в WAL для обеспечения надежности данных. Этот журнал времен-

но хранит изменения, позволяя восстановить данные в случае сбоя. Затем, периодически выполняется процесс компактизации, который перемещает данные из WAL в более эффективные структуры хранения на диске, оптимизируя пространство и обеспечивая быстрый доступ к метрикам. В системах мониторинга данные о метриках фиксируются как дискретные значения с временными метками, что означает запись моментальных значений метрик в определённые моменты времени, а не потоков непрерывных данных (рис. 5). Каждый временной ряд позволяет анализировать изменения значений метрик во времени.



Рис. 5. Схема подпроцесса записи данных в СУБД ВР

### Агрегация данных

Данный процесс обращается к данным, записанным в итоге прохождения процесса 3. Данный процесс происходит с настраиваемой частотой опроса  $v_{\text{опроса}}$

Экспортер данных отправляет запросы PromQL [15] для получения агрегированных данных, такой запрос представляет собой комбинацию нескольких метрик и несколько функций для их объединения.

Функции принимают метрики как входные данные и возвращают изменённые или обработанные результаты, например максимальное количество запросов за 5 минут.

Важным аспектом этих функций является работа с временными рядами данных, что подразумевает, что селекция данных осуществляется на основе временных интервалов. Тогда количество строк к обработке в запросе учитывая настраиваемую частоту сбора данных  $v_{\text{сбора}}$

$$N_{\text{строк}} = \nu_{\text{сбора метрики}} * T_{\text{наблюдения}} \quad (3)$$

где:  $N_{\text{строк}}$  — количество строк, обрабатываемых в запросе;  $\nu_{\text{сбора метрики}}$  — частота сбора метрики объекта мониторинга сборщиком данных в Гц;  $T_{\text{наблюдения}}$  — временной интервал, заданный в запросе в сек.;

Назад СУБД возвращает агрегированные данные в формате JSON. В ответ на запрос СУБД отправляет данные в агрегированном формате за заданный параметрами запроса период (рис. 6).

### Проверка условий и отправка оповещений

Полученные от сборщика агрегированные данные проверяются на соответствие установленным условиям для оповещения. Условия проверяются с конфигурируемой периодичностью, которую можно обозначить как  $T_{\text{проверки}}$  и соответствующей частотой  $\nu_{\text{проверки}}$ . Данными для проверки условий являются последние данные, полученные из СУБД ВР.

Факт того, что данные удовлетворяют состоянию оповещения, добавляет неопределенность в систему, появляется информационная энтропия в связи с вероятностью срабатывания уведомления. Далее система оповещений отправляет уведомление выбранным средством оповещений (рис. 7).

### Оценка времени процессов системы мониторинга

Учитывая информационные потоки системы мониторинга, можно оценить количество запросов и данных проходящих в подпроцессах, для обнаружения объектов мониторинга при их увеличении системе все равно необходимо отправить только один запрос, количество запросов необходимых для агрегации данных и проверки условий равно количеству заданных условий для оповещений, также в этих подпроцессах соединение устанавливается между двумя устройствами, что позволяет отправлять несколько запросов в рамках одного постоянного HTTP-соединения начиная с протокола HTTP 1.1 [16], что также уменьшает необходимое время прохождения данного количества запросов.



Рис. 6. Схема подпроцесса получения данных из СУБД ВР

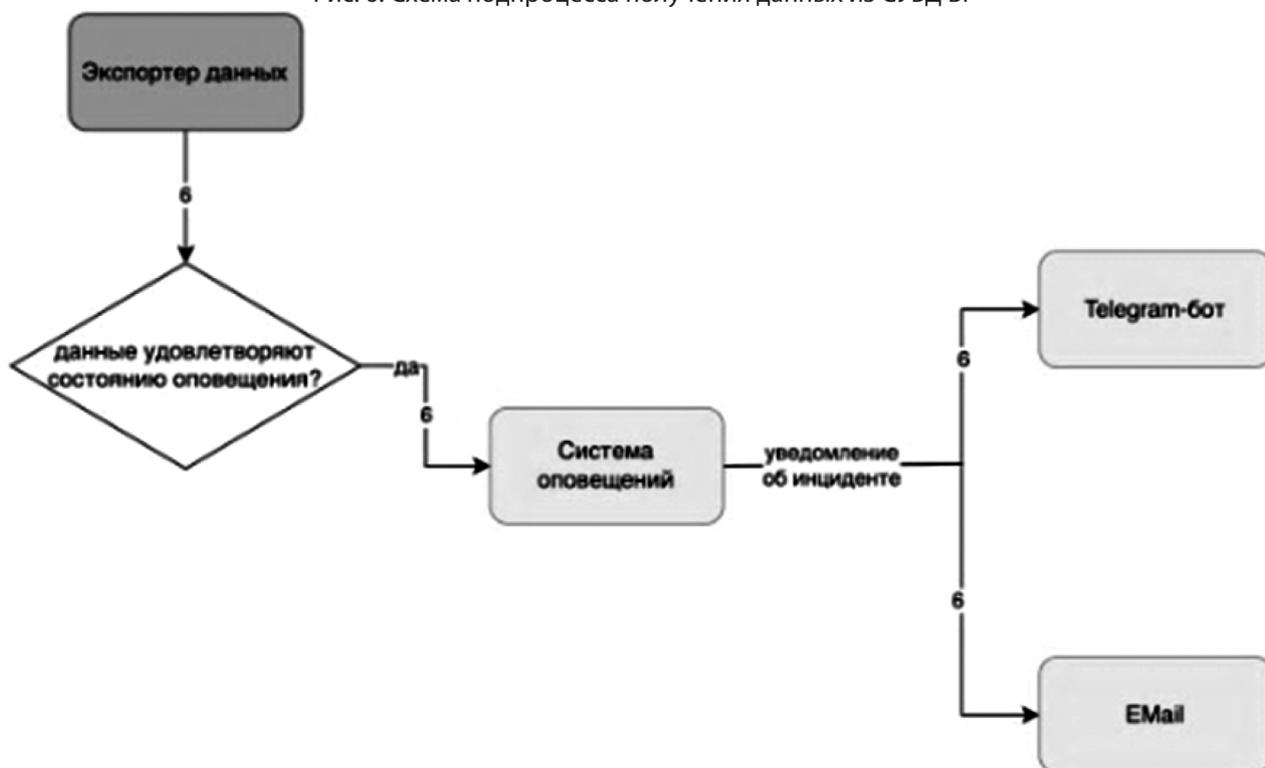


Рис. 7. Схема процесса проверки инцидентов и отправки оповещений

В случае со сбором данных от объектов мониторинга сборщик данных вынужден создавать новое соединение с каждым из объектов мониторинга, количество которых может быть крайне большим. Самым нагруженным процессом из всех является сбор данных от объектов мониторинга, здесь собираются все сырые данные и формируются для записи и для дальнейшей обработки. Сборщик посылает  $N_{\text{объектов мониторинга}}$  запросов для получения состояния каждого из объектов. Учитывая объем данных, количество метрик объекта мониторинга, количество объектов мониторинга и технические ограничения сервера, можно оценить время сбора данных от объектов мониторинга используя (1), (2):

$$T_{\text{сбора}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{объектов}}} \left( T_{\text{задержки сети}_i} + V_{\text{данных}_i} \left( \frac{1}{S_{\text{сети}_i}} + \frac{1}{S_{\text{десериализации}}} \right) \right) \quad (4)$$

где  $N_{\text{объектов}}$  — количество объектов мониторинга;  $T_{\text{задержки сети}_i}$  — задержка сети до объекта мониторинга  $i$  в сек.;  $S_{\text{десериализации}}$  — скорость десериализации данных из OpenMetrics формата сборщиком данных в битах/с [17];  $S_{\text{сети}_i}$  — скорость соединения в битах/с;  $V_{\text{данных}_i}$  — объем данных состояния объекта мониторинга  $i$  в битах;

### Информационная энтропия в системах мониторинга и оповещений

Система мониторинга отслеживает множество показателей и генерирует уведомления при отклонениях от нормы. Эти события могут происходить с разной вероятностью. Энтропия Шеннона [9] измеряет неопределённость в распределении вероятностей событий, помогая понять, насколько предсказуемы или случайны состояния источника. Если вероятность выхода метрики за пределы нормы высока, то неопределённость (энтропия) будет низкой. Если же состояния источника менее предсказуемы, энтропия будет высокой.

$$H(X) = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (5)$$

где  $p_i$  — вероятность состояния;  $N$  — количество возможных состояний;  $H$  — энтропия системы, представляющая количество информации в битах.

В случае с энтропией двух и более независимых источников, энтропия объединения равна сумме энтропий этих источников [9], при этом для каждого источника собственные вероятности  $\sum_{i=1}^N p_i = 1$

$$\begin{aligned} H_{\text{общее}}(X; Y; Z; \dots) &= \\ &= H(X) + H(Y) + H(Z) + \dots = \sum_{i=1}^n H_i \end{aligned} \quad (6)$$

где  $H_{\text{общее}}$  — общая энтропия системы в битах;  $H_i$  — энтропия независимого источника  $i$  в битах

После сбора всех изначальных показателей от объектов мониторинга, энтропию можно выразить, используя формулы количества метрик, приведенные ранее. Каждая из метрик содержит свое состояние со своими вероятностями нахождения в этом состоянии, состоянием метрики является комбинация меток и их значений. Если у метрики есть две метки, каждая из которых может быть в одном из двух состояний, то всего по у метрики есть 4 возможных состояния. Тогда энтропия одной метрики:

$$H_{\text{метрики}}(x) = -\sum_{i=1}^{N_{\text{состояний}}} P(i) \log_2(P(i)) \quad (7)$$

где  $p_i$  — вероятность нахождения метрики в состоянии  $i$ ;  $N_{\text{состояний}}$  — количество возможных состояний метрики;  $H_{\text{метрики}}$  — энтропия метрики, представляющая количество информации в битах.

В случае всех метрик системы энтропия в этом случае показывает общую неопределённость в данных до агрегации метрик, когда каждая метрика и её состояния считаются отдельно. Учитывая, что события независимы, то исходя из следствий (б) теоремы Шеннона [9] общая энтропия будет равна сумме энтропий метрик, каждая метрика является источником энтропии, то есть чем больше независимых источников энтропии — метрик, тем выше общая энтропия системы в момент сбора сырых данных. Учитывая (6) и (7), энтропия состояния системы:

$$\begin{aligned} H_{\text{состояния}}(X) &= \sum_{i=1}^{M_{\text{метрики}}} H_{\text{метрики}_i}(P(i)) = \\ &= -\sum_{i=1}^{M_{\text{метрики}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{состояний}_i}} P(i, j) \log_2(P(i, j)) \end{aligned} \quad (8)$$

где  $p_i$  — вероятность состояния;  $M_{\text{метрики}}$  — количество метрик всей системы.  $N_{\text{состояний}_i}$  — количество возможных состояний;  $H_{\text{состояния}}$  — энтропия системы, представляющая количество информации в битах.

Информационную энтропию оповещений, то есть количество информации, обрабатываемой оператором, можно оценить, зная количество проверяемых условий и вероятности их срабатывания. Каждое оповещение представляет собой независимое событие. После агрегации проверяются условия оповещений с частотой проверки  $v_{\text{проверки}}$  с использованием актуальных на момент проверки значений, полученных в ходе подпроцесса экспорта данных, то есть результаты PromQL запросов при использовании Prometheus, итогом проверки может быть либо выполнение, либо невыполнение условия, то

есть два исхода для каждого из событий, количество информации для одного оповещения можно выразить как:

$$H_{\text{оповещения}}(x) = -\sum_{j=1}^2 P(j) \log_2(P(j)) \quad (9)$$

Имея  $N_{\text{условий}}$  событий, учитывая (6) и (9):

$$\begin{aligned} H_{\text{оповещений}}(x) &= \sum_{i=1}^{N_{\text{оповещений}}} H_{\text{оповещения } i}(P(i)) = \\ &= -\sum_{i=1}^{N_{\text{оповещений}}} \sum_{j=1}^2 P(i,j) \log_2(P(i,j)) \end{aligned} \quad (10)$$

где  $p_i$  — вероятность состояния оповещения;  $N_{\text{оповещений}}$  — количество оповещений;  $H_{\text{оповещений}}$  — энтропия оповещений системы, представляющая количество информации в битах.

В таком случае уменьшение неопределенности системой мониторинга и оповещений можно определить как разность между изначальной неопределенностью системы и количеством информации оповещений, предоставляемых оператору:

$$\Delta H(X,Y) = H_{\text{состояния}}(X) - H_{\text{оповещений}}(Y) \quad (11)$$

Посмотрим количество энтропии одного условия оповещения используя формулу (8) с вероятностью  $P_1$  — срабатывания уведомления и вероятностью  $P_2$ , эти вероятности комплиментарны так как условие оповещение либо выполняется, либо не выполняется. В левой части графика при низком,  $P_1$  — энтропия минимальна, если бы оператор стабильно получал оповещения о текущем состоянии, они повторялись бы, и система почти всегда сообщала бы о некритическом состоянии. В правой части графика при высоком  $P_1$  энтропия также минимальна, система стабильно в неисправном состоянии. Максимум количества информации оповещение достигает в том случае, когда вероятности  $P_1$  и  $P_2$  равны. Итогом каждой проверки подобного условия являются разные сообщения в каждой отдельной проверке, система постоянно переходит из критического в некритическое состояние и оператору тяжелее отслеживать подобные оповещения. Таким образом наиболее когнитивно нагружающими оповещениями являются оповещения, создаваемые условиями проверки с более близкими вероятностями срабатывания и несрабатывания условия. (рис. 8)

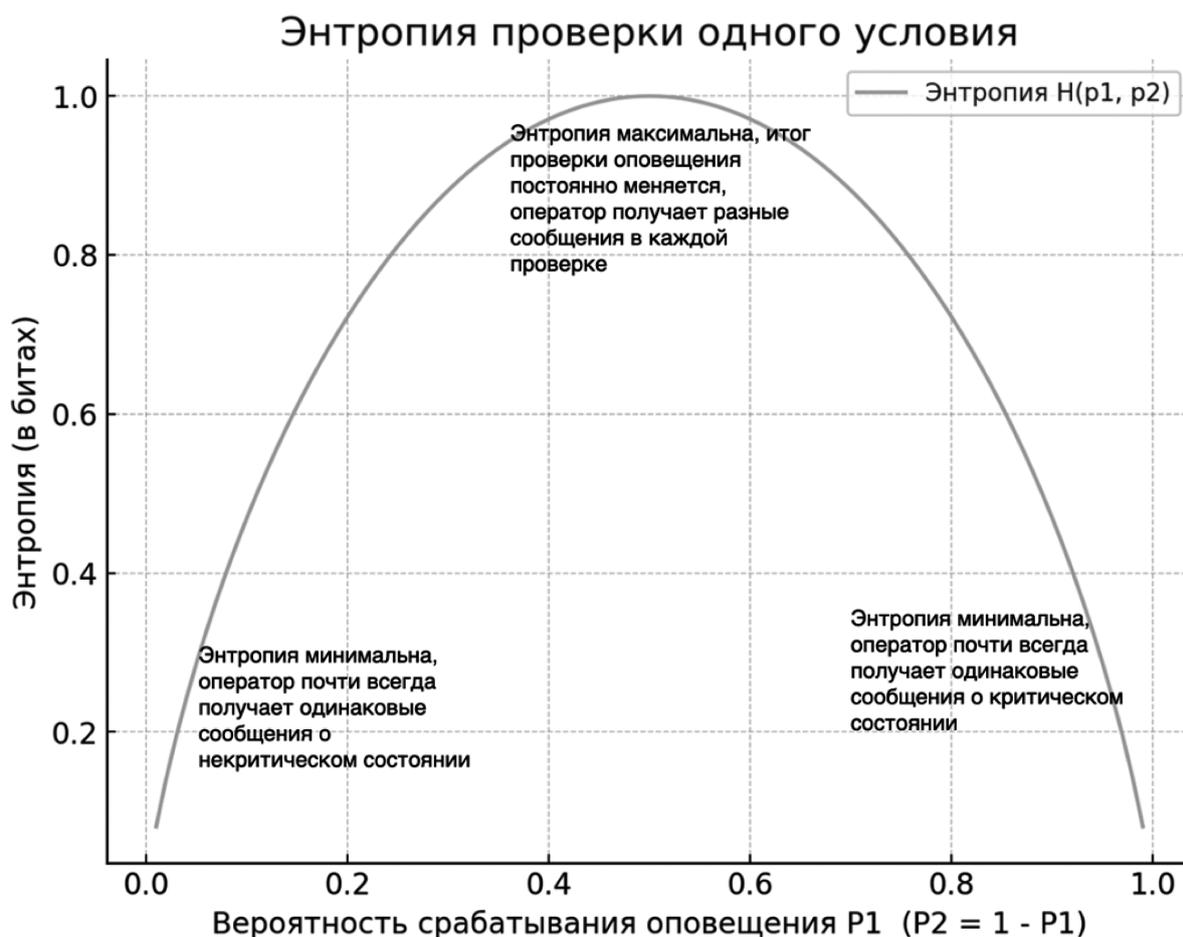


Рис. 8. Энтропия проверки одного условия оповещения

**Период ожидания и состояния оповещений**

Таким образом при составлении условий оповещений необходимо стремиться к наиболее не равновероятным исходам проверки. Механизмом снижения количества информации может быть добавление периода ожидания  $T_{ожидания}$ , который отправлял бы оповещение, только при выполнении условия на протяжении всего интервала оценки для исключения одноразовых превышений порогового значения. В таком случае необходимое количество срабатывающих проверок  $N_{проверок}$  при известной частоте проверки условия  $v_{проверки}$ :

$$N_{проверок} = v_{проверки} \cdot T_{ожидания} \quad (12)$$

где:  $N_{проверок}$  — количество необходимых успешных подряд проверок;  $v_{проверки}$  — частота проверки оповещения в Гц;  $T_{ожидания}$  — период ожидания в сек.

Когда система оповещений выполняет запросы к источникам данных и сравнивает данные с условиями срабатывания, если условия выполняются, инцидент регистрируется как «сработавшее оповещение». Однако до этого данные должны пройти через стадию, называемую «ожидание», когда метрики начинают удовлетворять условиям, но оповещение еще не срабатывает (рис. 9).

Период ожидания — это время, в течение которого условие должно быть выполнено непрерывно. Если условие сохраняется в течение этого периода, система переходит к отправке уведомления. То есть для срабатывания одного условия, проверяемого каждую секунду с временем оценки 5 секунд, будет необходимо 5 сработавших проверок для отправки уведомления, что снижает вероятность срабатывания уведомления и, как следствие, необходимое количество информации для передачи оповещения, поставляемого оператору. Необ-

ходимо учитывать, что добавление периода ожидания увеличивает минимальное время, необходимое для отправки на время ожидания.

Снизить количество необходимых уведомлений можно, отправляя уведомления оператору только в случаях прохождения периода проверки, то есть подтверждения критического состояния показателя и нормализации состояния — возвращения состояния в нормальное состояние, что в свою очередь снижает избыточность повторяемой информации.

**Моделирование объектов наблюдения системы мониторинга и тестовый стенд**

Для моделирования объекта наблюдения было создано серверное приложение REST API [18] на Golang [20] с методами для добавления и удаления показателей в процессе эксперимента.

Был создан набор со 100000 метрик. В проведении эксперимента используется варьируемое количество объектов наблюдения с различным количеством событий для каждого объекта, при этом каждый показатель может иметь разное количество меток, формирующих метрику и описывающих более детально текущее состояние. Выбранная инфраструктура позволяет контролировать количество обрабатываемых метрик (рис. 10).

Для моделирования подобной системы для вероятностей нахождения показателя в определенном состоянии используется распределение Пуассона и интенсивность возникновения событий. Это распределение хорошо подходит для моделирования в системе мониторинга, где важно учитывать частоту событий, например возникновения ошибок, запросов, изменений показателей и подсчитывать их количество [19].



Рис. 9. Граф состояний оповещения при использовании периода ожидания

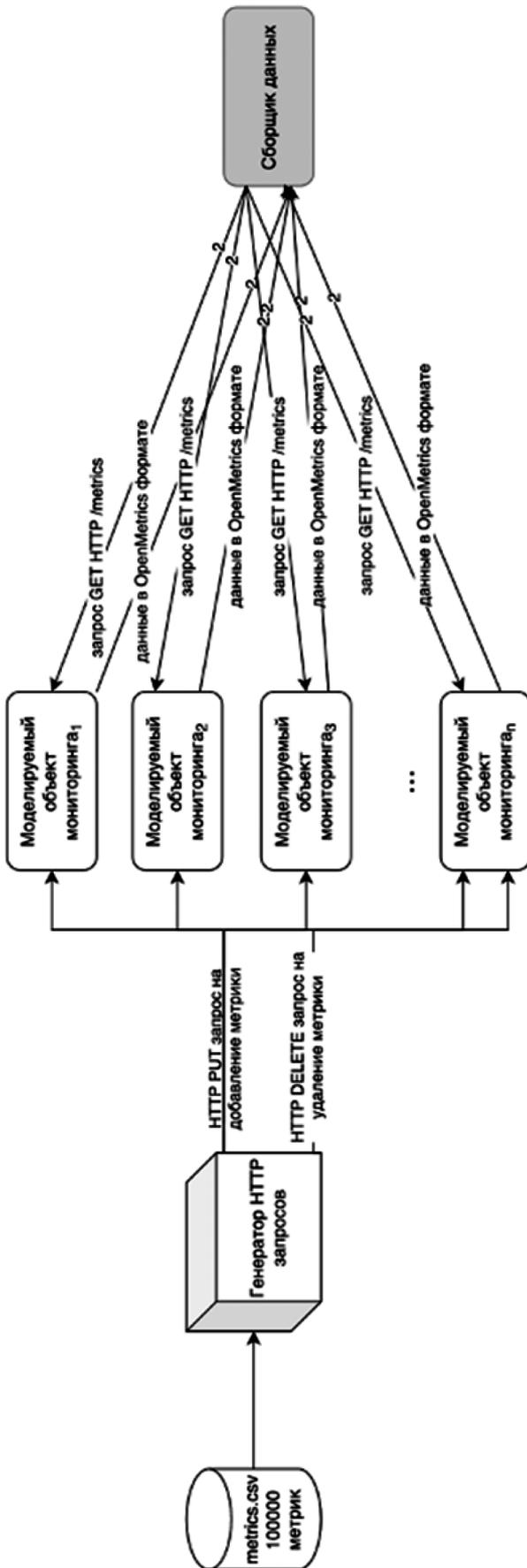


Рис. 10. Схема тестового стенда

Таким образом можно зная интенсивность возникновения события получить вероятности и подсчитать информационную энтропию системы и сопоставить ее с количеством уведомлений для проверки.

**Экспериментальное исследование времени сбора в зависимости от количества метрик**

В данном эксперименте использовался описанный выше тестовый стенд. Частота сбора  $v_{сбора} = 0,05$  Гц,  $T_{сбора} = 20$ с. При увеличении количества метрик (рис. 11б) увеличивается время сбора (рис. 11а), а при остановке добавления новых показателей время сбора выходит на плато.

Это объясняется тем, что при росте количества объектов мониторинга, базовых событий и, как следствие, общего количества метрик, увеличивается объем передаваемых данных  $V_{данных_i}$ , из формулы для расчета  $T_{сбора}$  (4). При 100000 показателях при выходе на плато среднее время опроса всех объектов мониторинга составило 2,3 секунды. Максимальное фактическое значение  $T_{сбора}$  составило 2,8 секунд. Используя данную информацию, следует уменьшить настраиваемое  $T_{сбора}$ .

**Экспериментальное исследование количества оповещений при различных правилах отправки**

На описанном выше тестовом стенде были заданы оповещения с различными вероятностями нахождения в критическом состоянии (прохождения условия оповещения). Для демонстрации снижения количества информации и информационной нагрузки на человека-оператора было выбрано количество оповещений. На тестовом стенде было смоделировано пять условий проверки состояния с различными пороговыми значениями и соответствующими вероятностями определения состояния оповещения: очень часто, часто, равновероятностно, редко, очень редко. Условия оповещений проверялись один раз за одну минуту на протяжении шести часов проведения эксперимента. Для отправки уведомлений использовался описанный выше метод

отправки исключительно изменений состояний, то есть в каждом из случаев уведомления сообщает оператору о переходе в критическое состояние, либо нормализацию состояния оповещения. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Результаты сравнения условий проверок с различными вероятностями срабатывания при использовании отправки уведомлений о изменении состояний оповещений

Вероятность срабатывания (в %)	Инф. энтропия	Количество зафиксированных критических состояний	Количество зафиксированных некритических состояний	Количество уведомлений о изменении состояния оповещения
1 %	0,08 бит	1	359	2
99 %	0,08 бит	354	6	4
10 %	0,46 бит	37	323	63
90 %	0,46 бит	321	39	71
50 %	1 бит	164	196	280
$H_{оповещений}$ при одном цикле проверки (10)	2,08 бит			

**Оценка полученных результатов**

Исходя из полученных практически в ходе эксперимента с зависимостью времени сбора данных от количества метрик результатов можно установить, что при увеличении числа метрик в системе наблюдается линейный рост времени сбора данных. Это связано с увеличением объема передаваемых данных  $V_{данных_i}$ , что также подтверждается теоретическими расчётами по формуле  $T_{сбора}$  (4).

Для оценки практических результатов, полученных в ходе экспериментального исследования количества

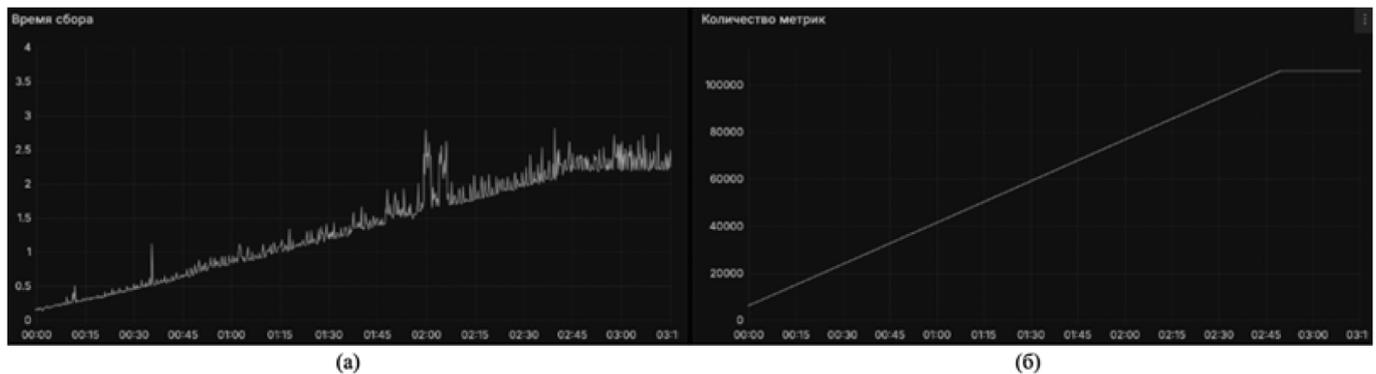


Рис. 11. а) Временной ряд фактического времени сбора б) Временной ряд количества собираемых метрик

оповещений при различных правилах отправки, сопоставим данные таблицы 1 с полученным ранее теоретическим графиком энтропии проверки одного условия. Отообразим столбчатую диаграмму зависимости количества уведомлений от вероятностей срабатывания по итогам измеренных значений, рассчитанную энтропию оповещений (рис. 12).

При наложении графика энтропии проверки одного условия видно, что при отправке оповещения в случае изменения состояния оповещения, количество оповещений при разных вероятностях повторяет график энтропии, столбцы с количеством уведомлений симметричны относительно 50 % вероятности. Собранные данные показывают, что наименьшее количество уведомлений отправляется при вероятностях срабатывания условия 99 % и 1 %. Наибольшее количество уведомлений связано с условиями, имеющими вероятность срабатывания 50 %, что сопровождается чрезвычайно высокой энтропией. Учитывая, что энтропия выражает количество информации, это можно интерпретировать как то, что именно в таком случае система создает наименьшее количество избыточных уведомлений и передает фактическое количество информации о происходящих событиях.

При отправке при каждой фиксации критического состояния максимальное количество оповещений наблюдалось бы при 99 % вероятности, так как было зафиксировано 354 критических состояния, однако если

посчитать часть энтропии события появления критического оповещения при данной вероятности, то это будет всего  $-0,99 \log_2 0,99 = 0,01 \text{бит}$ , сообщение о критическом состоянии почти не несет информации, переходя к оповещениям — оповещения каждый раз сообщали бы одинаковую информацию, в данном случае наиболее важным событием, несущем не избыточную информацию, были бы оповещения о редких (1 % срабатывания) некритических состояниях с энтропией события  $-0,01 \log_2 0,01 = 0,07 \text{бит}$  в данном случае. Однако если бы система отправляла бы сообщения при каждой фиксации некритического состояния, которых было зафиксировано 6, также наблюдалось бы как минимум одно повторное избыточное оповещения, учитывая, что изменений состояний было 4, как минимум один раз система два раза находилась в некритическом состоянии подряд, что можно было бы передать одним оповещением.

При вероятности срабатывания 90 % условие может выполняться несколько раз подряд, в таком случае за несколько периодов создаётся только одно уведомление, так как состояние не меняется, что объясняет несоответствие между количеством критических состояний, выходов из них и количеством отправленных уведомлений. Для равновероятных условий (50 %) число уведомлений превышает их суммарное количество для всех остальных условий. Ужесточение условий проверки в случае вероятностей при переходе от 90 % до 99 % позволило сократить количество уведомлений более чем в 10 раз.

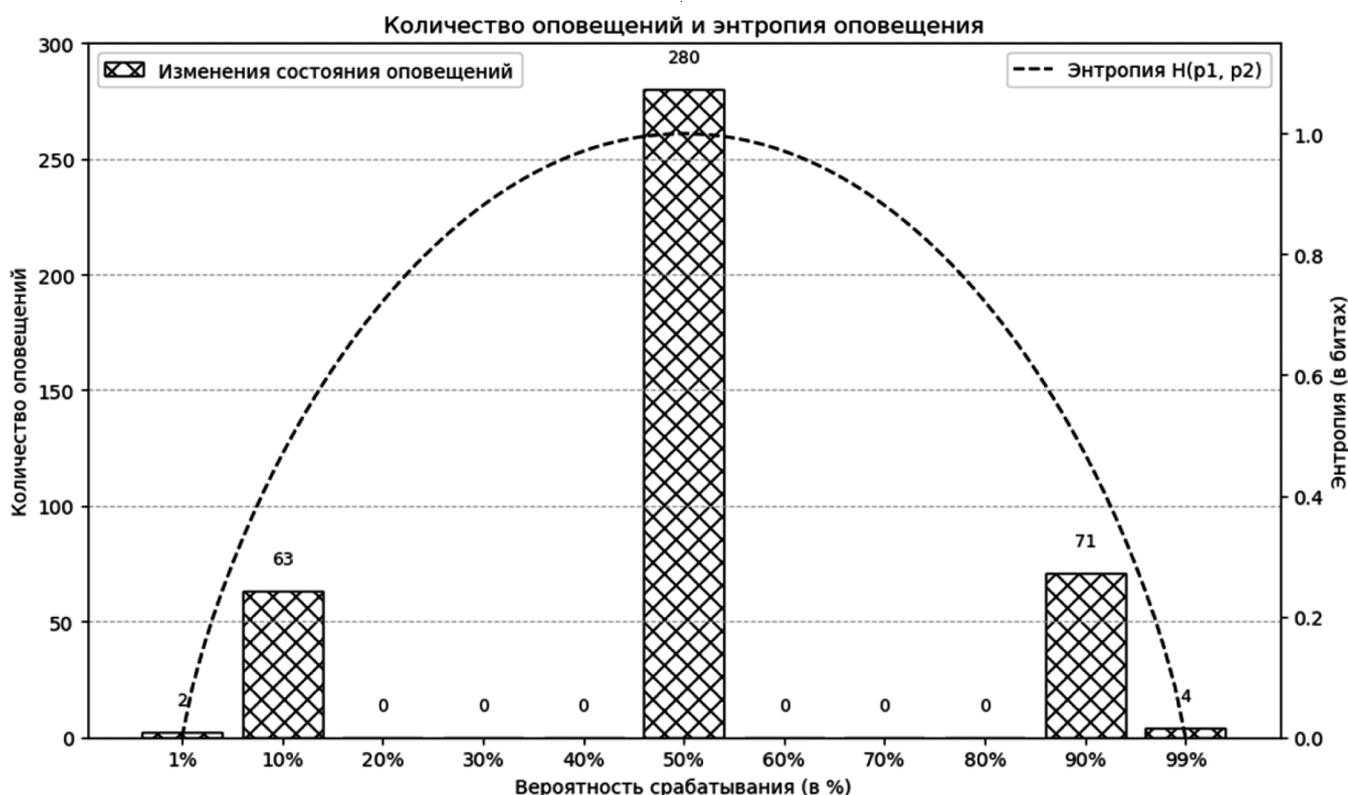


Рис. 12. Столбчатая диаграмма количества отправленных оповещений в ходе эксперимента

### Заключение

В ходе исследования были рассмотрены информационные потоки и процессы системы мониторинга и оповещений, произведена теоретическая оценка количества метрик в системе, их влияние на время сбора, оценка когнитивной нагрузки на человека-оператора с использованием информационной энтропии.

Был создан тестовый стенд, на котором были проведены экспериментальные исследования, результаты показывают, что использование механизма состояния оповещений снижает избыточность, а в совокупности с использованием менее равновероятностных условий проверки, позволяет системе более эффективно уменьшать когнитивную нагрузку на человека-оператора и повышать общую эффективность системы. Использование периода ожидания для проверки условий также позво-

ляет снизить возможную информационную энтропию, однако компромиссом является увеличение времени фиксации критического состояния, это может быть полезно в случае менее срочных оповещений.

При увеличении количества метрик узким местом, влияющим на время, становится периодический опрос объектов мониторинга, конфигурация частоты  $V_{\text{сбора}}$  с использованием рассмотренного в ходе исследования  $T_{\text{сбора}}$  позволяет повысить эффективность системы, снижая общую задержку системы на обнаружение и отправку оповещения.

Описанные методы, критерии для повышения эффективности представляют практическую ценность при конфигурации частоты выполнения подпроцессов системы мониторинга, проектировании условий оповещений, механизмов их фиксации и отправки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. International Society of Automation. ISA 18.2-2016 Management of Alarm Systems for the Process Industries. ISA, 2016.
2. Iot-Analytics.com. Statistics on the growth of IoT devices. URL: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/>. (Дата обращения: 24.10.2024.)
3. Manyika J., «Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity.» McKinsey Global Institute Report, 2011. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation> (дата обращения: 24.10.2024)
4. Ефимов А.Н. Информация: ценность, старение, рассеяние. М.: Знание, 1978.
5. Душков Б.А. Основы инженерной психологии: учебник для студентов вузов / Б.А. Душков, А.В. Королев, Б.А. Смирнов. — Москва: Академический проект, 2020. — 574 с. — ISBN 978-5-8291-2717-6.
6. Lucchese A., Mossa G., Mummolo G., Sisto F.P. (2020). A Shannon entropy graph-based model to evaluate the operator mental workload involved in procedure-guided tasks. Proceedings of the 32nd European Modeling & Simulation Symposium (EMSS 2020), pp. 103–111. DOI: <https://doi.org/10.46354/i3m.2020.emss.014>
7. Service Discovery в распределенных системах на примере Consul. / Александр Сигачев URL: <https://habr.com/ru/articles/487706/> (дата обращения: 25.10.2024)
8. Mueen Abdullah, Keogh Eamonn, Zhu Qiang, Cash Sydney, Westover Brandon (2009). "Exact Discovery of Time Series Motifs". University of California, Riverside. 2009: 473–484. doi:10.1137/1.9781611972795.41
9. Shannon C. (1948) A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal 27 379–423.
10. Time Series Compression Algorithms Explained. / Timescale. URL: <https://www.timescale.com/blog/time-series-compression-algorithms-explained/> (дата обращения: 10.10.2024)
11. Сбор и обработка больших данных в системах мониторинга информационно-телекоммуникационных сетей средствами технологий Hadoop. / Авторы: Будко Н.П., Васильев Н.В., Груздев А.А. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sbor-i-obrabotka-bolshih-dannyh-v-sistemah-monitoringa-informatsionno-telekommunikatsionnyh-setey-sredstvami-tehnologii-hadoop/viewer> (Дата обращения: 10.10.2024)
12. OpenMetrics. / OpenMetrics Community. URL: <https://openmetrics.io> (Дата обращения: 10.10.2024)
13. Prometheus. / Prometheus Community. URL: <https://prometheus.io> (Дата обращения: 10.10.2024)
14. Graphite. / Graphite Community. URL: <https://graphiteapp.org> (Дата обращения: 24.10.2024)
15. Basics of Querying in Prometheus. / Prometheus Community. URL: <https://prometheus.io/docs/prometheus/latest/querying/basics/> (дата обращения: 10.10.2024)
16. HTTP Persistent Connection Establishment, Management, and Termination. / TCP/IP Guide. URL: [http://www.tcpipguide.com/free/t\\_HTTPPersistentConnectionEstablishmentManagementand.htm](http://www.tcpipguide.com/free/t_HTTPPersistentConnectionEstablishmentManagementand.htm) (Дата обращения: 10.10.2024)
17. Sonic. / ByteDance. URL: <https://github.com/bytedance/sonic> (дата обращения: 10.10.2024)
18. Representational State Transfer (REST) Architectural Style. / Roy T. Fielding. URL: [https://ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest\\_arch\\_style.htm](https://ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest_arch_style.htm) (Дата обращения: 10.10.2024)
19. A First Course in Probability. / Sheldon Ross. URL: <https://www.math.wm.edu/~leemis/2004iie.pdf> (Дата обращения: 25.10.2024)
20. Go Programming Language. / Go Dev. URL: <https://go.dev> (Дата обращения: 10.10.2024)

# ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ПРИЛОЖЕНИИ REPORT.MS

## ERGONOMIC ANALYSIS OF TIME CHARACTERISTICS OF BUSINESS PROCESSES IN THE REPORT.MS APPLICATION

**B. Goryachkin  
P. Martynova  
K. Skvortsov**

*Summary.* Despite the presence of many common characteristics and repetitive operations in corporate software, the process of its development, configuration, and adaptation to the needs of a particular organization is often labor-intensive and requires deep knowledge in programming. This creates the prerequisites for the emergence of corporate application designers — tools that are designed to automate and simplify this process. The problem of a comprehensive ergonomic analysis of the key functional capabilities of corporate application designers arises the methodology for calculating the execution time of business processes, to identify opportunities for its improvement and increase ease of use. The architecture of the Report.ms application was studied in detail, including the main components and their interaction. An analytical approach to assessing the execution time of various stages of the data processing process in the application was developed. The time of the http request, work with the database, transfer and save data were calculated. This made it possible to assess the impact of each of these factors on the overall execution time of the process. Using the example of a specific process, a step-by-step detailing of the calculation of the total execution time was performed. This demonstrated the practical application of the developed methodology and confirmed its effectiveness. The results of the study can be applied in the design and development of other analytical tools for business, where the accuracy and convenience of the user interface are important for effective use.

*Keywords:* HTTP request, PostgreSQL, enterprise application designer, execution time, database.

**Горячкин Борис Сергеевич**

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

**Мартынова Полина Владимировна**

Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана  
mpv19u539@student.bmstu.ru

**Скворцов Кирилл Сергеевич**

Программист, ФГБУ «НМИЦ эндокринологии»  
sk.kirillg@gmail.com

*Аннотация.* Несмотря на наличие множества общих характеристик и повторяющихся операций в корпоративном программном обеспечении, процесс его разработки, настройки и адаптации под нужды конкретной организации зачастую является трудоемким и требует глубоких знаний в программировании. Это создает предпосылки для появления конструкторов корпоративных приложений — инструментов, которые призваны автоматизировать и упростить данный процесс. Возникает проблема комплексного эргономического анализа ключевых функциональных возможностей конструкторов корпоративных приложений, в частности методики расчета времени выполнения бизнес-процессов, с целью выявления возможностей её совершенствования и повышения удобства использования.

Была детально изучена архитектура приложения Report.ms, включая основные компоненты и их взаимодействие. Был разработан аналитический подход к оценке времени выполнения различных этапов процесса обработки данных в приложении.

Проведены расчеты времени http-запроса, работы с базой данных, передачи и сохранения данных. Это дало возможность оценить влияние каждого из этих факторов на общее время выполнения процесса.

На примере конкретного процесса была выполнена пошаговая детализация расчета общего времени его выполнения. Это продемонстрировало практическое применение разработанной методики и подтвердило ее эффективность.

Результаты исследования могут быть применены при проектировании и разработке других аналитических инструментов для бизнеса, где точность и удобство пользовательского интерфейса имеют важное значение для эффективного использования.

*Ключевые слова:* HTTP-запрос, PostgreSQL, конструктор корпоративных приложений, время выполнения, база данных.

### Введение

**К**орпоративное программное обеспечение — это специализированные программные решения, разработанные для удовлетворения потребностей организаций и предприятий. Оно предназначено для управления различными аспектами бизнеса, такими как финансы, управление проектами, учет, продажи,

CRM (управление взаимоотношениями с клиентами), ERP (планирование ресурсного предприятия) и многие другие. Корпоративное программное обеспечение играет ключевую роль в современном бизнесе, позволяя организациям повышать эффективность и конкурентоспособность. Оно охватывает широкий спектр бизнес-функций, от управления финансами и проектами до взаимодействия с клиентами и планирования ресур-

сов предприятия. Эти специализированные решения помогают компаниям автоматизировать рабочие процессы, повышать производительность труда и принимать более обоснованные управленческие решения на основе данных.

В большинстве корпоративных ПО есть общие элементы, такие как

- авторизация
- управление пользователями и правами доступа
- графический интерфейс (таблицы и т.д.)
- отчеты и аналитика

Типы внесения изменений также повторяются. К таким типам относятся:

- добавление поля в базу данных
- создание таблицы
- редактирование таблиц
- добавления графика для аналитики
- добавление новой роли пользователя

Эти базовые операции по расширению функционала применимы к широкому спектру корпоративных приложений, независимо от их конкретной отраслевой или бизнес-специфики. Такое повторяющееся ядро изменений и модификаций ПО создает предпосылки для появления конструкторов корпоративных приложений — инструментов, которые автоматизируют и упрощают процесс разработки, настройки и адаптации бизнес-программ под нужды конкретной организации.

Наличие множества общих характеристик породило то, что в данный момент на рынке стали появляться конструкторы корпоративных приложений. Конструкторы корпоративных приложений — это инструменты или платформы, позволяющие организациям быстро и эффективно разрабатывать приложения для внутреннего использования без необходимости глубоких знаний в программировании. Они особенно полезны для автоматизации бизнес-процессов, управления данными и повышения продуктивности.

### Описание архитектуры конструктора корпоративных приложений Report.ms

Одним из таких конструкторов является Report.ms [1]. Его архитектура представлена на рис. 1.

Архитектура конфигуратора представляет собой модульную систему, объединяющую несколько компонентов, которые работают совместно для обеспечения функциональности и взаимодействия с пользователем. В центре архитектуры находится модуль конфигуратора, который включает три ключевых элемента: базу данных, бизнес-логику и пользовательский интерфейс.

Сам конфигуратор состоит из:

- База данных (PostgreSQL [2]):

База данных служит хранилищем для конфигурационных данных. PostgreSQL выбрана за свою надежность и производительность, что позволяет эффективно обрабатывать запросы и обеспечивать целостность данных. Здесь хранится информация, необходимая для работы конфигуратора, такая как настройки, параметры и другие необходимые данные.

- Бизнес-логика (Dotnet Core [3]):

Бизнес-логика написана на платформе Dotnet Core и выполняет роль посредника между базой данных и пользовательским интерфейсом. Этот компонент отвечает за обработку запросов от клиентской части, выполнение необходимых операций с данными (например, получение, обновление, удаление) и применение правил и алгоритмов, которые обеспечивают правильную работу конфигуратора. Таким образом, бизнес-логика реализует основные функции и правила, касающиеся обработки конфигурационных данных.

- Приложение (React [4]):

Интерфейсная часть, разработанная с использованием React, обеспечивает визуальное взаимодействие пользователей с системой. Пользователи могут вводить данные, смотреть текущие настройки и получать результаты в удобной форме. React позволяет создавать динамичные и отзывчивые интерфейсы, обеспечивая быстрое обновление контента без необходимости перезагрузки страницы. Это положительно сказывается на пользовательском опыте, делая его более интерактивным.

Ниже уровня конфигуратора располагается ИИ сервис, который также включает в себя базу данных и приложение на Dotnet Core:

- База данных (PostgreSQL):

Аналогично конфигуратору, здесь хранится информация, необходимая для работы ИИ-сервиса. Это может включать обучающие выборки, результаты анализа, модели и другие данные, которые могут быть использованы для предоставления интеллектуальных услуг.

- Приложение (Dotnet Core):

Это приложение также отвечает за обработку данных и бизнес-логику, специфичную для ИИ. Оно может анализировать входные данные, предоставлять интеллектуальные рекомендации или выполнять другие вы-

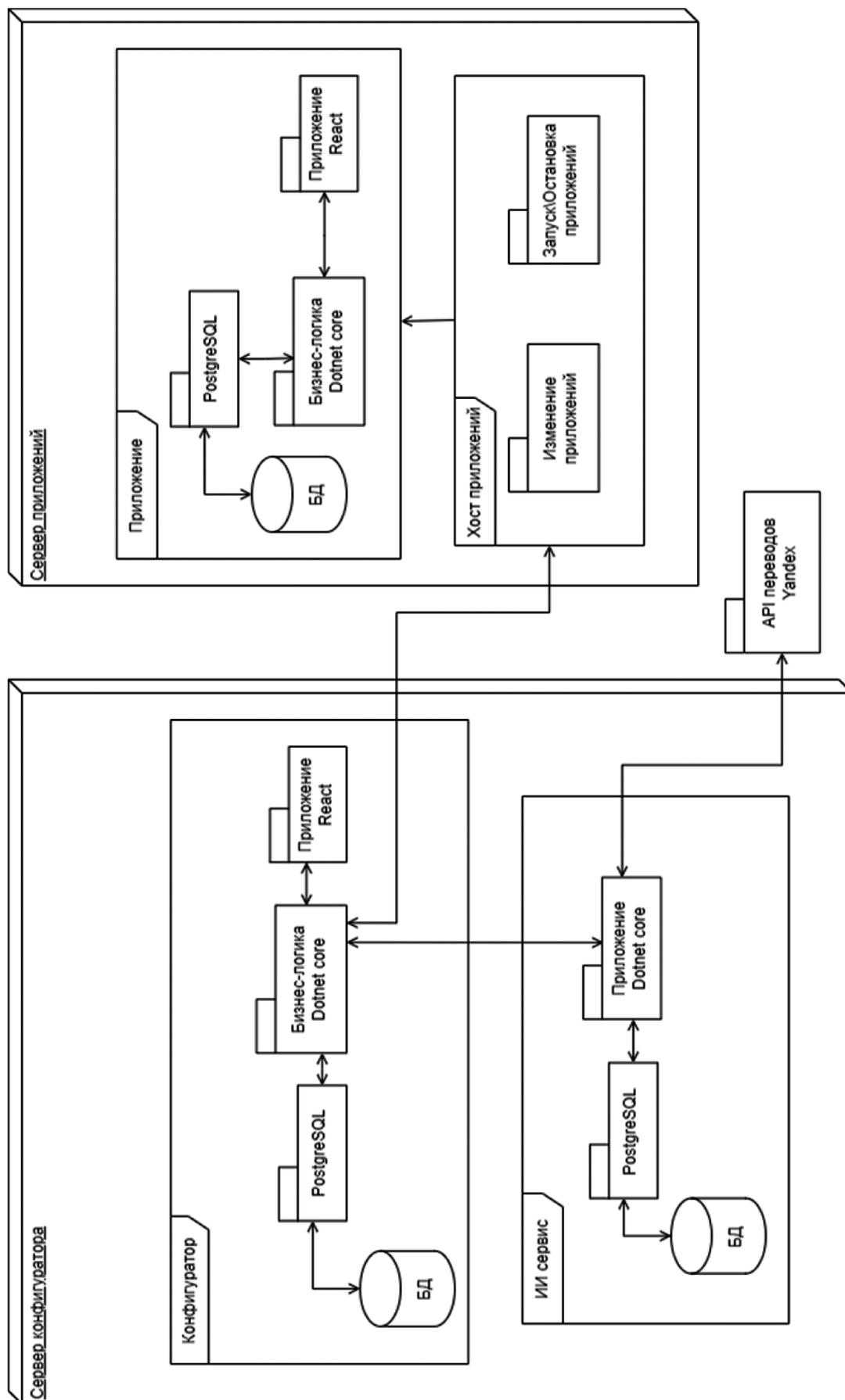


Рис. 1. Архитектура конструктора бизнес-приложений

числительные задачи. Взаимодействие с базой данных позволяет выполнять необходимые операции над данными, получая нужные результаты для дальнейшей обработки.

Система также имеет интеграцию с внешним API, в частности с API переводов Яндекс. Эта функция позволяет пользователю конфигуратора получать переводы, что особенно важно для того, чтобы переводить, например, названия полей и справочников, которые добавляет пользователь, для того. Взаимодействие с API может происходить в режиме реального времени, что расширяет функциональность конфигуратора и делает систему более гибкой и доступной для пользователей из разных языковых групп.

Схема также указывает на использование хостинга для развертывания приложений. Это может обеспечить доступность конфигуратора и ИИ-сервиса в интернете, позволяя пользователям взаимодействовать с системой через веб-браузеры.

### Расчет времени http-запроса

В целом, как запросы HTTP [5], так и ответы имеют следующую структуру:

- Стартовая строка (start line) — используется для описания версии используемого протокола и другой информации — вроде запрашиваемого ресурса или кода ответа. Как можно понять из названия, ее содержимое занимает ровно одну строчку.
- HTTP-заголовки (HTTP Headers) — несколько строчек текста в определенном формате, которые либо уточняют запрос, либо описывают содержимое тела сообщения.
- Пустая строка, которая сообщает, что все метаданные для конкретного запроса или ответа были отправлены.
- Опциональное тело сообщения, которое содержит данные, связанные с запросом, либо документ (например HTML-страницу), передаваемый в ответе.

Для расчета времени выполнения http-запроса будем пользоваться следующей формулой:

$$t_{\text{передачи}} = \frac{l}{v} \tag{1}$$

Где  $t_{\text{передачи}}$  — время передачи данных по каналу связи (с).  
 $l$  — количество передаваемой информации (бит).  
 $v$  — скорость передачи данных по каналу (бит/с)

Общее количество передаваемой информации состоит из количества информации в заголовке, стартовой строке и теле запроса, рассчитывается по формуле 2.

$$l = l_{\text{старт.строки}} + l_{\text{заголовка}} + l_{\text{тела}} \tag{2}$$

### Расчет времени работы с базой данных

В PostgreSQL выполнение запроса состоит из следующих этапов [6]:

1. Парсер генерирует дерево разбора, которое может быть прочитано последующими подсистемами из SQL-запроса в виде обычного текста.
2. Анализатор выполняет семантический анализ дерева разбора, сгенерированного синтаксическим анализатором, и генерирует дерево запросов. Корнем дерева запросов является структура Query, определенная в `parsenodes.h`. Эта структура содержит метаданные соответствующего запроса, такие как тип этой команды (SELECT, INSERT или другие), и несколько листьев; каждый лист образует список или дерево и содержит данные отдельного конкретного пункта.
3. Переписчик — реализует систему правил и при необходимости преобразует дерево запросов в соответствии с правилами, хранящимися в каталоге системы `pg_rules`.
4. Планировщик получает дерево запросов от переписчика и генерирует дерево планов (запросов), которое может быть обработано исполнителем наиболее эффективно.

Планировщик в PostgreSQL основан на чистой оптимизации на основе затрат. Он не поддерживает оптимизацию на основе правил и подсказок. Оптимизация запросов в PostgreSQL основана на стоимости. Затраты являются безразмерными величинами, и это не абсолютные показатели производительности, а показатели для сравнения относительной производительности операций.

Затраты оцениваются функциями, определенными в файле `costize.c`. Все операции, выполняемые исполнителем, имеют соответствующие функции затрат. Например, затраты на последовательное сканирование и сканирование индекса оцениваются функциями `cost_seqscan()` и `cost_index()`, соответственно.

В PostgreSQL существует три вида затрат: начальные, текущие и общие. Общая стоимость — сумма затрат на запуск и выполнение. Таким образом, независимо оцениваются только затраты на запуск и выполнение.

Затраты на запуск — это затраты, понесенные до получения первого кортежа. Например, начальная стоимость узла сканирования индекса — это стоимость чтения индексных страниц для доступа к первому кортежу в целевой таблице. Стоимость выполнения — это стоимость получения всех кортежей. Общая же стоимость

определяется суммой стоимости запуска и стоимости выполнения.

Стоимость последовательного сканирования, то есть стандартного запроса select, оценивается функцией `cost_seqscan()`.

При последовательном сканировании стоимость запуска равна 0, а стоимость выполнения определяется следующим выражением:

$$T = \left( (t_{\text{корт}} + t_{\text{оп}} N_{\text{оп}}) N_{\text{корт}} + S_{\text{стр}} N_{\text{стр}} \right) \times k_{\text{комп}} (S_s + t_{\text{ст}} N_{\text{ст}}) \quad (3)$$

где  $T$  — общее время выполнения запроса,  $t_{\text{корт}}$  — стоимость сканирования строки, по умолчанию 0,01. Данная стоимость берется из настроечного файла `costsize.c`;

$t_{\text{оп}}$  — стоимость одного оператора, по умолчанию 0,0025. Данная стоимость берется из настроечного файла `costsize.c`;

$N_{\text{оп}}$  — количество операторов, то есть количество столбцов с условиями;

$N_{\text{корт}}$  — количество кортежей;

$S_{\text{стр}}$  — количество страниц;

$N_{\text{стр}}$  — стоимость сканирования страницы, по умолчанию 1;

$t_{\text{ст}}$  — эмпирический коэффициент стоимости одного столбца, для данной конфигурации PostgreSQL 0,0186;

$S_s$  — начальная стоимость выполнения поиска по столбцам, для данной конфигурации PostgreSQL 0,9814,

$N_{\text{ст}}$  — количество столбцов в таблице;

$k_{\text{комп}}$  — коэффициент производительности компьютера, для устройства, на котором проводился эксперимент — 0,0003. Коэффициент может варьироваться в зависимости от производительности системы. Например, компьютер с процессором Pentium имеет порядок коэффициента 0.01, хотя для современных серверных решений, данный коэффициент может достигать 10–6.

Количество страниц  $S_{\text{стр}}$ , на которых расположена база данных, не может быть посчитано вручную, однако данные могут быть получены с помощью запроса PostgreSQL. Запрос, приведенный ниже, выводит информацию об количестве страниц, на которых расположена определенная таблица:

```
SELECT relpages, reltuples FROM pg_class WHERE relname = 'data'
```

**Расчет времени для процесса добавления нового поля в справочник**

Рассмотрим процесс добавления нового поля в справочник. Схематично он представлен на рис. 2.

Рассматриваемый процесс — добавление нового поля в справочник.

Данный процесс состоит из нескольких шагов, каждый из которых является либо http-запросом (или ответом), либо запросом в базу данных.

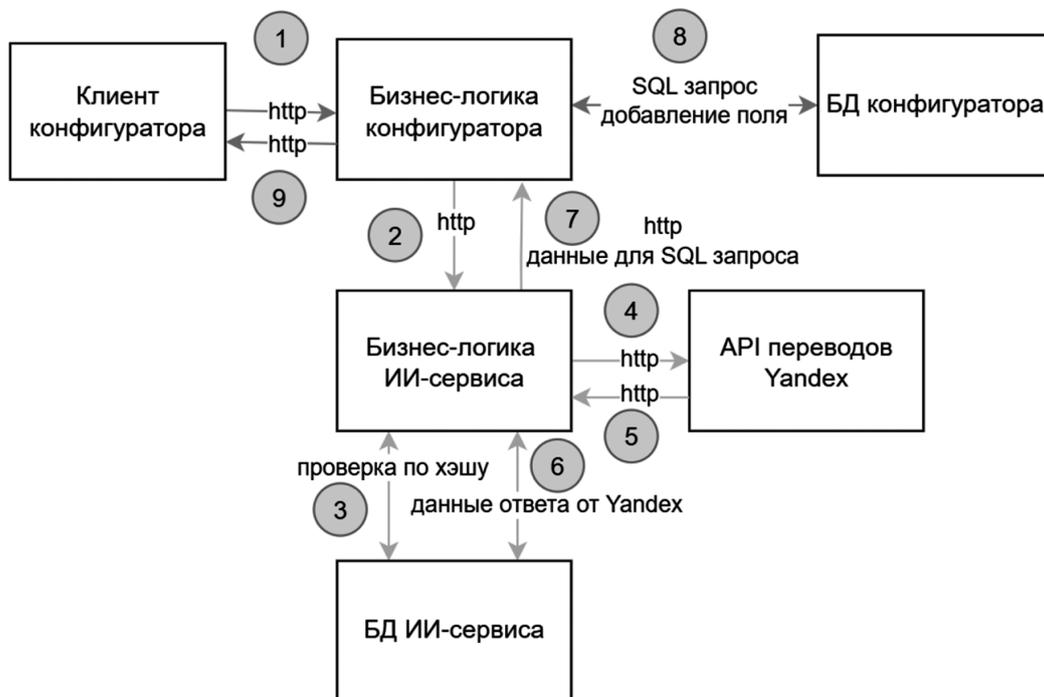


Рис. 2. Схема информационного потока для процесса добавления нового поля в справочник

Для наглядности запишем все данные для расчета времени http-запросов в таблицу 1, время работы с базой данных для каждого шага в таблицу 2.

Таблица 1.

Время передачи данных в http-запросах и ответах

шаг	стартовая строка, байт	заголовок, байт	тело, байт	l, байт	l, бит	t, мсек
1	49	1342	1086	2477	19816	0,0566
2	45	1124	118	1287	10296	0,0021
4	67	1342	113	1522	12176	0,0348
5	15	271	129	415	3320	0,0095
7	15	271	69	355	2840	0,0006
9	15	271	159	445	3560	0,0102

Таблица 2.

Время работы с базой данных

шаг	t <sub>корт</sub>	t <sub>оп</sub>	N <sub>оп</sub>	N <sub>корт</sub>	S <sub>стр</sub>	N <sub>стр</sub>	t <sub>ст</sub>	S <sub>s</sub>	N <sub>ст</sub>	k <sub>компл</sub>	T, мсек
3	0,01	0,0025	2	705	16	1	0,0186	0,9814	6	0,0003	0,009

Суммируем всё время и сравним с полученным практически. Теоретическим путем было получено время: 497 мсек, практическим путем — 670 мсек. Расчет соизмерим с практически полученным значением.

**Проведение эксперимента для ряда схожих процессов**

Произведем тот же эксперимент для добавления других полей в справочник. Результаты занесем в таблицу 3.

Таблица 3.

Измерение времени добавления полей в справочник

Название поля	T <sub>теор.</sub> , МКС	T <sub>практ.</sub> , МКС
Номер заказа	497	670
Статус	525	680
Дата заказа	553	750
Комментарий	581	690

Построим на основе полученных результатов гистограмму. Она приведена на рисунке 3.

**Заключение**

Была детально изучена архитектура приложения Report.ms, включая основные компоненты и их взаимодействие. Был разработан аналитический подход к оценке времени выполнения различных этапов процесса обработки данных в приложении.

Проведены расчеты времени http-запроса, работы с базой данных, передачи и сохранения данных. Это дало возможность оценить влияние каждого из этих факторов на общее время выполнения процесса.

На примере конкретного процесса была выполнена пошаговая детализация расчета общего времени его выполнения. Это продемонстрировало практическое применение разработанной методики и подтвердило ее эффективность.

Для ряда схожих процессов был проведен экспериментальный анализ фактического времени выполнения. Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало высокую точность предложенного аналитического подхода.

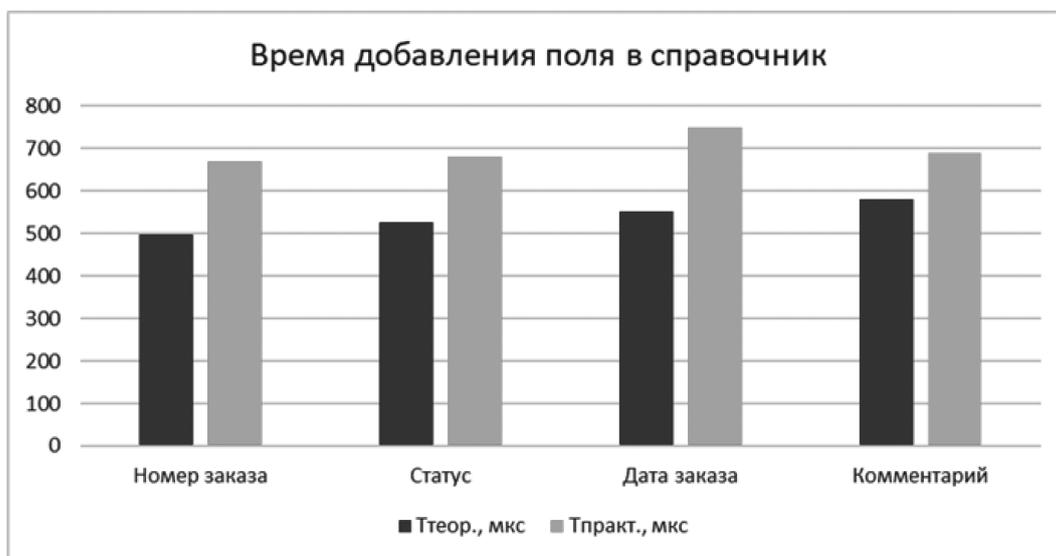


Рис. 3. Время добавления поля в справочник

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Report.ms Конструктор корпоративных приложений. URL: <https://report.ms/> (дата обращения: 30.11.2024).
2. PostgreSQL. URL: <https://www.postgresql.org/> (дата обращения: 30.11.2024).
3. Введение в .NET Core. Microsoft. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/core/introduction> (дата обращения: 30.11.2024).
4. React. Legacy. URL: <https://ru.legacy.reactjs.org/> (дата обращения: 30.11.2024).
5. HTTP-запрос. Selectel. URL: <https://selectel.ru/blog/http-request/> (дата обращения: 30.11.2024).
6. Гудилин Д.С., Горячкин Б.С., Звонарев А.Е. Анализ производительности реляционных баз данных.

---

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru); Мартынова Полина Владимировна (mpv19u539@student.bmstu.ru);  
Скворцов Кирилл Сергеевич (sk.kirillg@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

## MODELLING THE RELIABILITY OF HARDWARE, SOFTWARE AND HARDWARE/SOFTWARE SYSTEM INTERACTIONS

V. Gulyaev

*Summary.* Hardware-software co-design systems are widely used today in various application areas. The article considers the essence and approaches to modelling the reliability of hardware-software systems and interaction of their parts. The diagram of state transitions at failures in software-hardware interaction is formalised separately. The approach for modelling the reliability of software-hardware system is described, which is based on a unified model of system reliability using Markov process, including three main categories of failures: hardware failures, software failures and hardware-software interaction failures.

*Keywords:* hardware, software, reliability, model.

**Гуляев Владислав Евгеньевич**  
Аспирант, Дальневосточный  
Федеральный Университет  
Guliaev.ve@dvvu.ru

*Аннотация.* Системы совместного проектирования аппаратно-программных средств находят сегодня свое широкое применение в различных прикладных областях. В статье рассмотрена сущность и подходы к моделированию надежности программно-аппаратных систем и взаимодействию их частей. Отдельно формализована диаграмма переходов состояний при сбоях в программно-аппаратном взаимодействии. Описан подход для моделирования надежности программно-аппаратной системы, который базируется на унифицированной модели надежности системы с использованием марковского процесса, включающей три основные категории сбоев: сбой оборудования, сбой программного обеспечения и сбой взаимодействия оборудования и программного обеспечения.

*Ключевые слова:* оборудование, программа, надежность, модель.

Отказ критически важных систем управления процессами в реальном времени, таких как системы управления безопасностью атомных электростанций и воздушным движением, военные и медицинские системы, промышленные объекты может иметь катастрофические последствия. Поэтому важно определить их надежность, чтобы гарантировать, что риски для общества находятся в приемлемых пределах. Подобного рода системы представляют собой встраиваемые компьютерные комплексы, состоящие как из аппаратных, так и из программных компонентов [1].

Существующие работы по моделированию надежности систем совместного проектирования в основном предполагали, что подсистемы оборудования и программного обеспечения ведут себя независимо друг от друга. В результате в большинстве существующих публикаций и отчетов подразумевалась либо независимость между оборудованием (HW) и программным обеспечением (SW), либо фиксированная доля зарегистрированных отказов оборудования для представления контактов HW/SW. Однако, практика свидетельствует о том, что эти две подсистемы могут иметь различные взаимодействия в реальной жизни, в результате чего сформулированные предположения в ряде случаев оказались ошибочными. Состояние работоспособности, например деградация и отказ, аппаратных компонентов

составляет один из критических факторов, влияющих на производительность программных подсистем [2]. Соответственно, к числу значимых причин, вызывающих отказ программного обеспечения, относится неисправность/ошибки аппаратной платформы, на которой расположено программное обеспечение. Помимо этого, немаловажным является тот факт, что традиционные модели надежности часто игнорируют зависимость сбоев между подсистемами и наличие замаскированных данных об отказе системы, поэтому они не могут точно отразить анализ моделирования надежности всего программно-аппаратного комплекса.

Таким образом, вопросы, связанные с анализом вероятностных взаимодействий HW/SW в сочетании с надежностью аппаратного и программного обеспечения, представляются критически важными для моделирования и оценки общей надежности программно-аппаратных систем, что и предопределило выбор темы данной статьи.

Над усовершенствованием архитектурно-ориентированного подхода, который использует дискретно-непрерывное марковское моделирование на этапе проектирования программного обеспечения для руководства выбором характеристик надежности, которые должны быть включены в его архитектуру, трудятся Беля-

ков Д.С., Калинин Е.О., Брагин Д.С., Ehlimana Cogo, Almir Karabegović, Zhixuan Wang, Wen Chen.

Аналізу программных ошибок, как основы новой методологии оценки взаимодействия между аппаратными и программными подсистемами, которая определяет надежность системы в целом, посвятили свои публикации Старжинская Н.В., Чернова А.И., Левачков С.О., Ларкин Е.В., Привалов А.Н., K. Isaieva, Marc Fauvel, Nicolas Weber.

Наличие широкого спектра публикаций по данной тематике свидетельствует об активном внимании ученых к различным вопросам и проблемам. Однако ряд спорных и недостаточно проработанных моментов требует проведения более детального анализа. Так, в дальнейшем развитии и уточнении нуждается модель надежности программно-аппаратной системы (ПАС) с маскированными данными и зависимостью от отказов. Кроме того, более четкого обоснования требует методология анализа надежности многокомпонентных систем, подверженных широкому спектру зависимых конкурирующих процессов отказа.

Итак, цель статьи заключается в рассмотрении подходов к моделированию надежности системы оборудо-

вания, программного обеспечения и взаимодействия между ними.

Моделирование надежности ПАС во многом аналогично моделированию надежности только аппаратных систем. В процессе создания модели разрабатываются и используются блок-схемы надежности элементов системы, которые точно отображают взаимосвязь между аппаратными платформами и программным обеспечением, выполняемым на этих платформах, и применяются для оценки показателей надежности [3]. Для сложных структур создаются также диаграммы состояний, точно фиксирующие уникальные взаимосвязи моделируемой структуры. На рис. 1 представлена блок-схема моделирования надежности ПАС.

Для ПАС, критичных к безопасности, непрерывная готовность является важным требованием, а надежность программного обеспечения — одним из ключевых компонентов работоспособности всей системы. Надежность определяется как вероятность того, что программное или аппаратное обеспечение будет выполнять поставленную задачу в течение некоторого периода времени при заданных условиях [4]. Надежность всей ПАС определяется путем вычисления надежности каждого компонента. В ПАС ее компоненты предназначены для незави-



Рис. 1. Блок-схема моделирования надежности ПАС

симой работы. Однако для достижения общей цели все они должны работать совместно и правильно. Следовательно, отказ одного компонента может привести к отказу всей системы. Поэтому реальная ПАС имеет ряд конфигураций с точки зрения ее надежности. Надежность компонента ПАС вычисляется вероятностью успешного функционирования  $P(X_i)$  этого компонента независимо. Надежность всей системы  $R_{sys}$  может быть пересечением вероятностей  $P(X_i)$  каждого компонента системы, представленных в виде уравнения:

$$R_{sys} = P(X_1 \cap X_2 \cap X_3 \cap \dots \cap X_n) = P(X_1)P(X_2|X_1)P(X_3|X_1 X_2) \dots P(X_n|X_1 X_2 \dots X_{n-1}) \quad (1)$$

Если отказ одного из компонентов системы влияет на интенсивность отказов остальных компонентов (т.е. при отказе одного компонента изменяются характеристики распределения ресурса других компонентов), необходимо учитывать условные вероятности в уравнении (1). Однако в случае независимых компонентов, уравнение (1) может быть переписано следующим образом:

$$R_{sys} = P(X_1)P(X_2)P(X_3) \dots P(X_n) \quad (2)$$

Учитывая, что интенсивность отказов для каждого компонента системы не зависит и постоянна от их использования во времени, уравнение (2) имеет следующий вид (3):

$$R_{sys} = \prod_{i=1}^n R_i \quad (3)$$

где  $R_i$  — надежность каждого независимого компонента  $i$ , а  $n$  — количество компонентов на одну операцию в системе.

Вероятность того, что ПАС в момент времени  $t_0 \geq 0$  находится в состоянии  $s_i$ , определяется как  $h_i(t), i = 0, 1, 2, 3, \dots, 10$ . В свою очередь  $h(t) = [h_1(t), h_2(t), \dots, h_{10}(t)]$  в момент времени  $t$  представляет собой вектор вероятностей ряда. Тогда начальным условием является:

$$h_i(0) = \begin{cases} 1, & i = 0 \\ 0, & i = 1, 2, 3, \dots, 10 \end{cases} \quad (4)$$

Дифференциально-разностные уравнения, полученные из конфигурации системы, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} h_0(t) &= -(\delta_1 + \delta_2)h_0(t) + \eta_1 h_1(t) + \eta_2 h_2(t) \\ \frac{d}{dt} h_1(t) &= -(\eta_1 + \delta_1 + \delta_2)h_1(t) + \delta_1 h_0(t) + \eta_2 h_3(t) + \eta_1 h_5(t) \\ \frac{d}{dt} h_2(t) &= -(\eta_2 + \delta_1 + \delta_2)h_2(t) + \delta_2 h_0(t) + \eta_1 h_4(t) + \eta_2 h_6(t) \\ \frac{d}{dt} h_3(t) &= -(\eta_2 + \delta_1 + \delta_2)h_3(t) + \delta_2 h_1(t) + \eta_2 h_7(t) + \eta_1 h_9(t) \\ \frac{d}{dt} h_4(t) &= -(\eta_1 + \delta_1 + \delta_2)h_4(t) + \delta_1 h_2(t) + \eta_2 h_8(t) + \eta_1 h_{10}(t) \end{aligned} \quad (5)$$

Далее используем процесс Маркова для представления перехода состояний при взаимодействии аппаратного и программного обеспечения, как показано

**Полное рабочее состояние**

**Состояние деградации**

**Состояние отказа**

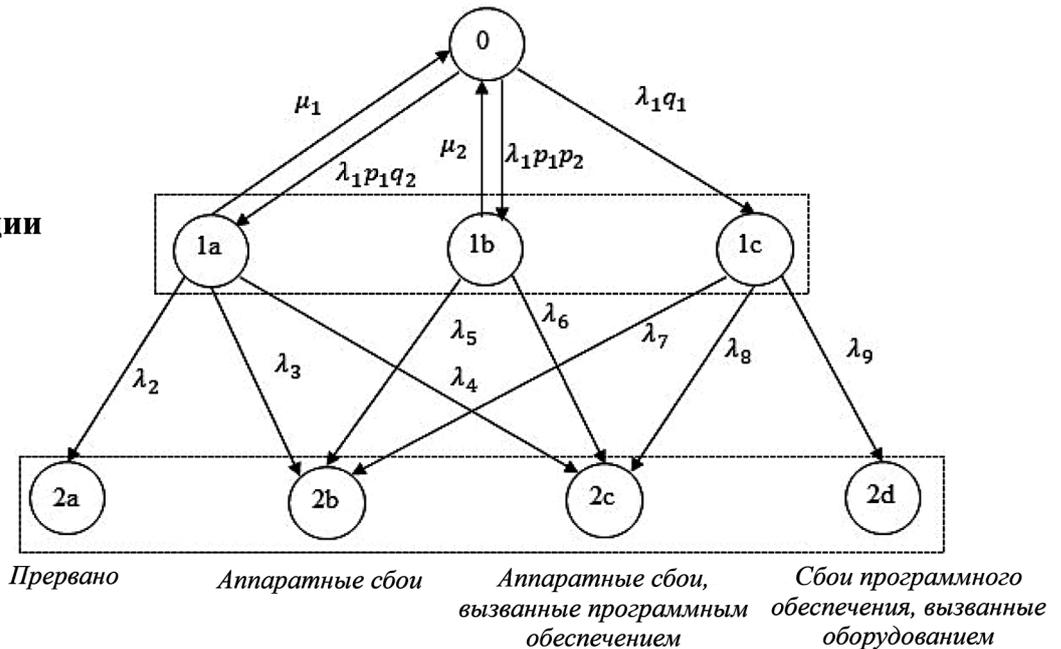


Рис. 2. Диаграмма переходов состояний при сбоях в программно-аппаратном взаимодействии

на рисунке 2. Как указано в предположениях модели, для программно-аппаратных взаимодействий определены три основных состояния: состояние полной работоспособности, состояние деградации и состояние отказа, а также восемь подсостояний {0, 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c, 2d}. Состояние (0) представляет собой полностью рабочее состояние, которое означает, что система находится в идеальном рабочем положении. Состояние деградации (1a) означает, что обнаружен частичный отказ оборудования, но он не может быть восстановлен программными средствами. Состояние деградации (1b) означает, что выявлен частичный отказ оборудования, который можно устранить программными средствами. Состояние деградации (1c) свидетельствует о том, что частичный отказ оборудования не установлен. Состояние отказа (2a) означает прерывание выполнения. Состояние отказа (2b) указывает на наличие аппаратных сбоев. Состояние отказа (2c) означает программно-индуцированные аппаратные сбои. Состояние отказа (2d) указывает на программные сбои, которые вызваны аппаратным обеспечением.

Процесс обнаружения и устранения программных ошибок рассматривается как неоднородный пуассоновский процесс [5]. Также предположим, что время, которое тестировщик программного обеспечения тратит

на устранение обнаруженных программных ошибок, пренебрежимо мало. В частности, скорость обнаружения программных сбоев и общее количество программных сбоев в программе рассматриваются в данном исследовании как константы. Таким образом, для оценки ожидаемого количества обнаруженных программных сбоев до момента времени  $t$  может быть использована модель G-O. Модель G-O имеет следующий вид:

$$m(t) = a(1 - e^{-bt})$$

где  $m(t)$  обозначает ожидаемое количество программных сбоев до момента времени  $t$ . Константы  $a$  и  $b$  обозначают скорость обнаружения программных сбоев и их общее количество в программе, соответственно.

Таким образом, подводя итоги проведенного исследования, можно сделать следующие выводы. В статье описан подход для моделирования надежности программно-аппаратной системы и взаимодействия ее частей. Разработанный подход базируется на унифицированной модели надежности системы на основе процесса Маркова, включающей три основные категории сбоев: сбои оборудования, сбои программного обеспечения и сбои взаимодействия оборудования и программного обеспечения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лукин В.Н. Проблемы сопровождения аппаратно-программных комплексов // Труды МАИ. 2022. № 123.
2. Скачков С.А. Дуализм аппаратных угроз функциональной надежности управляющих вычислительных систем // Успехи современной радиоэлектроники. 2022. Т. 76. № 11. С. 40–51.
3. Kizito Salako Demonstrating software reliability using possibly correlated tests: Insights from a conservative Bayesian approach // Quality and Reliability Engineering International. 2023. Volume 40, Issue 3. P. 19–29.
4. Xiao-Jian Yi. A new reliability analysis method for software-intensive systems with degradation accumulation effect based on goal-oriented methodology // Quality and Reliability Engineering International. 2023. Volume 40, Issue 1. P. 24–31.
5. Anum Shafiq An updated software reliability model using the shanker model and failure data // Quality and Reliability Engineering International. 2024. Volume 40, Issue 4. P. 90–95.

© Гуляев Владислав Евгеньевич (Guliaev.ve@dvmf.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНЫХ ОНТОЛОГИЙ

## INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS IN AGRICULTURAL ENTERPRISES BASED ON ADAPTIVE ONTOLOGIES

*Ye. Gusak*

*Summary.* The article is devoted to the prospects of using intelligent technologies for decision-making in the process of functioning of agricultural enterprises. A special emphasis is made on adaptive ontologies, their capabilities, and prospects of application. On a practical example the features of building the architecture of adaptive ontology and the choice of data sources are described. The key points of using fuzzy logic in decision-making systems are also outlined.

*Keywords:* ontology, analysis, decision, data, structure.

**Гусак Егор Владимирович**

Аспирант, Волгоградский Государственный

Аграрный Университет

[ierence.common@gmail.com](mailto:ierence.common@gmail.com)

*Аннотация.* Статья посвящена рассмотрению перспектив использования интеллектуальных технологий для принятия решений в процессе функционирования сельскохозяйственных предприятий. Отдельный акцент сделан на адаптивных онтологиях, их возможностях и перспективах применения. На практическом примере описаны особенности построения архитектуры адаптивной онтологии и подход к формированию источников данных. Также обозначены ключевые моменты использования нечеткой логики в адаптивных онтологиях.

*Ключевые слова:* онтология, анализ, решение, данные, структура.

Согласно прогнозам ООН и Всемирного банка, в 2050 г. численность населения Земли достигнет 9,8 млрд чел. и продолжит увеличиваться до тех пор, пока к 2100 году не достигнет отметки 11,3 млрд чел. [1]. При этом следует отметить, что существует прямая зависимость между ростом численности населения и увеличением потребности в производстве продуктов питания. Рост населения планеты и расширение урбанизации в значительной степени увеличивают риски дефицита продовольствия из-за увеличения объемов потребления и спроса на сельскохозяйственные продукты, поскольку сельскохозяйственные угодья заменяются инфраструктурой и зданиями. Помимо этого, существует множество препятствий для успешного развития и функционирования предприятий АПК, приводящих к снижению урожайности, таких как засоленность почвы и наводнения. Также значительное давление на производительность предприятий оказывает изменение климата, вредители, сорняки и болезни, которые развивают устойчивость к пестицидам, а законодательные ограничения сокращают доступные варианты для борьбы с ними.

С учетом отмеченного, для устранения комплекса угроз и рисков фермерам требуются основанные на фактических данных рекомендации для принятия оптимальных решений. Однако, из-за сложности и неопределенности сельскохозяйственной экономики традиционным системам поддержки принятия решений зачастую сложно эффективно реагировать на постоянно меняющиеся

требования рынка, погодные условия и политические корректировки, что приводит к низкой эффективности сельскохозяйственного производства и нестабильным доходам фермеров. Также это затрудняет совместное создание ценностей в потребительской цепочке создания стоимости, препятствуя удовлетворению общих интересов и устойчивому развитию отрасли [2].

Возможным вариантом решения задачи в данном случае является внедрение систем поддержки принятия решений с использованием передовых интеллектуальных технологий на основе онтологий. Это подход, который объединяет в виде формальных онтологий знания о конкретном случае и знания о предметной области с целью повышения эффективности и объясняющей способности системы.

Таким образом, вышеприведенные обстоятельства предопределили выбор темы данной статьи.

Описанию и классификации методов интеллектуального анализа данных, охватывающих три аспекта: типы знаний, типы анализа и типы архитектуры, а также особенностям их применения в различных исследовательских и практических областях, посвятили свои труды Баюк О.В., Лозикова И.О., Ворожцова Т.Н., Peter Baumann, Vlad Merticariu.

Возможности использования комбинации технологий искусственного интеллекта, адаптивной онтологии

и методов поддержки групповых решений для облегчения извлечения знаний о региональных и сезонных факторах, влияющих на эффективность сельского хозяйства, представлены в публикациях Якушева В.В., Ломакина В.С., Часовских С.В., Alan Fern, Margaret Burnett, Joseph Davidson.

Высоко оценивая накопленное научное наследие, широкий спектр вопросов в данной предметной плоскости остается открытым. Несмотря на то, что сегодня есть примеры успешного использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сельском хозяйстве (ИСПР), которые пользуются популярностью на практике, многие из них страдают от схожих недостатков проектирования, которые ограничивают их внедрение. К этим недостаткам относится отсутствие надежности, гибкости в единицах измерения и сложность исправления ошибок, когда в систему вводятся данные.

С учетом изложенного цель статьи заключается в изучении особенностей использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений на сельскохозяйственных предприятиях на основе адаптивных онтологий.

Онтология представляет собой формальную, четкую спецификацию общей концептуализации, где «концептуализация» относится к абстрактной модели некоторых явлений, которые могут быть идентифицированы

по ее соответствующим и явно определенным условиям и ограничениям [3]. ИСПР используют онтологию для представления и извлечения знаний. Преимуществом такого подхода является способность объяснять сложные логические взаимосвязи между вещами и понятиями в области знаний, а также логические рассуждения.

В сельском хозяйстве ИСПР на основе адаптивных онтологий объединяют многочисленные источники данных, такие как данные датчиков, визуальные данные и данные об окружающей среде в единую онтологическую структуру, что в итоге улучшает информационную базу, поддерживающую принятие комплексных решений, благодаря использованию существующих онтологических ресурсов для учета различных аспектов сельскохозяйственных операций, обеспечивая тем самым более целостный и обоснованный подход к управлению предприятиями.

В целом с теоретической точки зрения процесс функционирования ИСПР на основе адаптивных онтологий включает в себя ряд взаимосвязанных шагов, общая схема которых представлена на рис. 1. Как свидетельствует рис. 1 схема функционирования ИСПР включает в себя следующие этапы: разработка базовой онтологии; определение первоначальных весов онтологии (например, на основе широкого спектра методов интеллектуального анализа данных, в частности k-средних). Если он-



Рис. 1. Схема функционирования ИСПР на основе адаптивных онтологий

тология получается не полной, то ее необходимо пере-строить и провести оптимизацию. После этого следует распространить веса на всю онтологию и применить со-ответствующую метрику для разработки окончательного решения.

Когда онтология полностью построена, все ее веса определены и настроены, в таком случае функционирование ИСПР заключается в применении соответствующих метрик и принятии управленческих решений на основе их значений.

Особенности использования ИСПР на основе адаптивных онтологий в сельском хозяйстве рассмотрим на примере разработки системы, которая будет объединять компьютерное зрение, глубокое обучение и семантические веб-технологии для эффективного управления сельскохозяйственными знаниями. Система позволит интегрировать традиционные данные наблюдений и данные датчиков в единый граф знаний, доступный через язык запросов, предназначенный для поиска и манипулирования сведениями, хранящимися в графе.

Например, система знаний онтологии о сельскохозяйственных вредителях может быть описана пятерной формой  $DP = \langle D, V, C, B, M' \rangle$ , где  $D = \{D_1, D_2, \dots, D_L\}$  представляет собой непустое конечное множество всех болезней во всех иерархиях системы,  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_L\}$  является непустым конечным множеством всех симптомов во всех иерархиях системы,  $C \subseteq D * M = \{C_1, C_2, \dots, C_T\}$  — множество причинных отображений из  $D$  в  $M$ ,  $B \subseteq M * D = \{B_1, B_2, \dots, B_L\}$  — множество причинных отображений из  $M$  в  $D$ , и  $M' \subseteq M$  — это множество наблюдаемых симптомов.

Итак, ИСПР разрабатывается таким образом, чтобы ее можно было адаптировать к различным культурам и условиям окружающей среды, предоставляя точные рекомендации, учитывающие конкретные условия. Система охватывает такие аспекты, как анализ семян, управление почвой, ирригация, борьба с вредителями и анализ продукции. Кроме того, она позволит повысить точность рекомендаций и будет помогать фермерам оптимизировать каждый этап выращивания сельскохозяйственных культур благодаря использованию множества источников данных. Помимо этого, свойства адаптивной онтологии позволят ИСПР приспосабливаться к различным полевым условиям и типам данных, что даст возможность ей быть универсальным инструментом для современного сельского хозяйства.

На рисунке 2 показано, что разработка предложенной ИСПР включает в себя три этапа: сбор данных, представление знаний, а также выбор и поиск данных.

Эти этапы обеспечивают эффективную обработку собранной информации для выработки соответствующих рекомендаций.

В таблице 1 представлена примерная структура источников данных для онтологии моделируемой ИСПР.

Особенностью, предложенной на рис. 2 системы и отличительной характеристикой адаптивной онтологии, является возможность использования нечеткой логики описания. В последнее время отмечается, что классические онтологии и их языки не подходят для работы с нечеткими и неточными знаниями, которые являются основополагающими для нескольких областей реального мира, в число которых входит сельское хозяйство



Рис. 2. Архитектура ИСПР на основе адаптивной онтологии

Таблица 1.  
Структура источников данных для построения онтологии ИСПР в сельском хозяйстве

Класс	Описание
Ирригационная система	Описывает системы, используемые для орошения в АПК
Ирригационный анализ	Анализ эффективности планирования и осуществления орошения
Параметры воды	Параметры, связанные с качеством и доступностью воды
Источники воды	Различные источники воды, используемые для орошения
Анализ вредителей	Анализ, связанный с обнаружением и борьбой с вредителями
Текстура семян	Оценка качества текстуры семян
Семенной профиль	Профиль и характеристика семян
Анализ почвы	Оценка свойств и качества почвы
Вредители	Продукты, используемые для борьбы с вредителями
Методы	Методы борьбы с вредителями

[4]. Для решения этой проблемы как раз и предлагается использовать нечеткую логику. Адаптивные онтологии и нечеткая логика их описания для ИСПР могут работать с вероятностными неопределенностями и нечеткостью.

Нечеткая логика описания, которая рассматривается в рамках проводимого исследования, называется  $ALCB(D)$ , и ее выразительности достаточно, чтобы проиллюстрировать разрабатываемый подход.

Нечеткий конкретный домен представляет собой кортеж  $D = \langle \Delta^D, \Delta^{\cdot D} \rangle$ , где  $\Delta^D$  — домен типов данных,  $\Delta^{\cdot D}$  — отображение, присваивающее элемент  $\Delta^D$  каждому значению данных, и одномерное нечеткое отношение над  $\Delta^D$  к каждому одномерному предикату типа данных  $d$ . Таким образом, отображение  $\Delta^{\cdot D}$  связывает каждый предикат типа данных с функцией из домена  $\Delta^D$  в  $[0, 1]$ . Предикаты типа данных  $d$ , которые рассматриваются, — это функции принадлежности: трапецевидные  $trz(a, b, c, d)$ , треугольные  $tri(a, b, c)$ , левое плечо  $ls(a, b)$  и правое плечо  $rs(a, b)$ :

$$d \rightarrow ls(x, y) | rs(x, y) | tri(x, y, z) | trz(x, y, z, t)$$

$$|\geq_v | \leq_v | =_v | \in_v$$

и  $v \in \Delta^D$  и  $V \subseteq \Delta^D$ .

Теперь рассмотрим следующие обозначения: множество атомарных концептов или имен концептов обозначается как  $A$ , множество имен ролей обозначается как  $R$ , множество индивидуальных имен обозначается как  $I$ . Предполагаем, что роль может быть свойством типа данных или свойством объекта. С помощью конструкторов логики описания концепты строятся из имен концептов  $A$ , свойств объектов  $R$  и свойств типов данных  $S$ . Синтаксическое правило, используемое для построения концептов, следующее:

$$C \rightarrow T | \perp | A | C_1 \sqcap C_2 | C_1 \sqcup C_2 | C | C_1 \rightarrow C_2$$

$$| \exists R.C | \forall R.C | \exists S.d | \forall S.d | \exists R.\{a\}$$

Понятия формы  $\{a\}$ , содержащие  $a \in I$ , называются номиналами. В  $ALCB(D)$  они могут появляться только в понятиях формы  $\exists R.\{a\}$ . Нечеткая база знаний адаптивной онтологии  $\mathcal{K} = \mathcal{A}, \mathcal{T}$  содержит нечеткий  $AVox$   $\mathcal{A}$  с аксиомами об индивидах и нечеткий  $TBox$   $\mathcal{T}$  с аксиомами о концептах [5].

Нечеткий  $AVox$  включает в себя конечное множество нечетких утверждений следующих типов: (i) утверждения о понятиях в форме  $a : C, \alpha$   $\alpha \in (0, 1]$ , указывающие, что выражение  $a$  является экземпляром понятия  $C$  со степенью больше или равной  $\alpha$ ; (ii) ролевые утверждения в форме  $(a, b) : R, \alpha$   $\alpha \in (0, 1]$  означающие, что пара условий  $(a, b)$  является экземпляром решений  $R$  со степенью, большей или равной  $\alpha$ .

Нечеткий  $TBox$  состоит из конечного множества нечетких включений общих понятий, которые являются выражениями вида  $C_1 \sqsubseteq C_2, \alpha$   $\alpha \in (0, 1]$  означающими, что степень условия  $C_1$ , подчиненного  $C_2$ , больше или равна  $\alpha$ .

Описанные выше представления и соотношения позволяют интегрировать онтологии и онтологические представления для повышения эффективности ИСПР. Например, 24 солнечных условия или события — это природные явления, которые отражают сезонные характеристики сельскохозяйственной деятельности и имеют тесную связь с различными сельскохозяйственными знаниями. Каждое условие представляет собой конкретную временную сущность, которую необходимо объединить в сельскохозяйственную онтологию. Поэтому, исходя из характеристик используемых знаний и метода построения онтологии домена, извлечение общих понятий, таких как время и пространство, из сельскохозяйственной онтологии верхнего уровня необходимо для координации действий в процессе выбора онтологии нижнего уровня и в результате обоснования наиболее рационального решения.

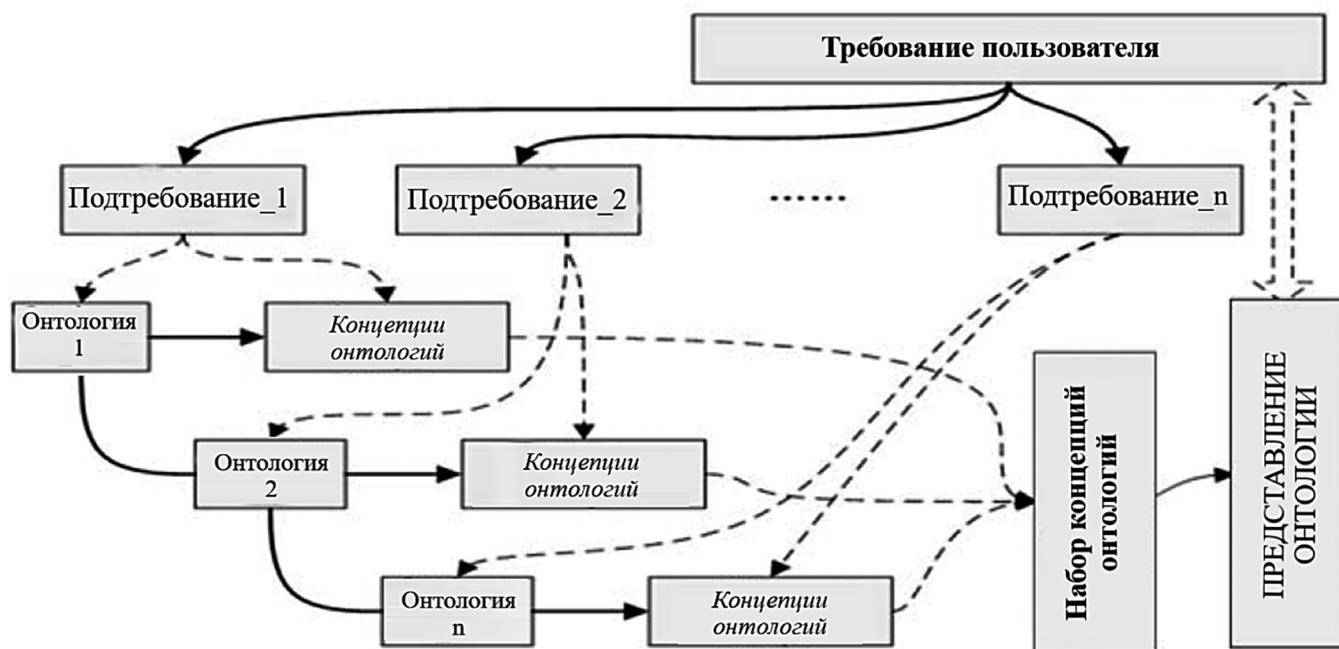


Рис. 3. Блок-схема представления онтологии на основе требований пользователя

Таким образом, в ИСПР поступают требования пользователей, которые затем разделяются на подтребования, согласно более предметным и целевым областям. Далее конкретный набор понятий берется из соответствующей онтологии согласно подтребованиям. После этого выполняется консолидация понятий для устранения противоречий и конфликтов в представлении онтологии. В конечном итоге, онтологическое представление

обеспечивает совместные сервисы интеграции знаний из предметных областей для удовлетворения потребностей пользователей в принятии тех или иных решений (рис. 3).

Итак, в статье рассмотрены теоретические и практические аспекты использования сельскохозяйственными предприятиями ИСПР на основе адаптивных онтологий в современных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Damilola Tobiloba Understanding farmers' engagement and barriers to machine learning-based intelligent agricultural decision support systems // *Agronomy Journal*. 2023. Volume 116, Issue 3. P. 34–39.
2. Кубеков Б.С. Онтологический инжиниринг для представления и управления знаниями: метаструктуры и методы для эффективного управления знанием // *Научный аспект*. 2023. Т. 2. № 5. С. 248–256.
3. Смирнов А.В. Концепция построения коллаборативных систем поддержки принятия решений: подход и архитектура платформы // *Информатика и автоматизация*. 2024. Т. 23. № 4. С. 1139–1172.
4. Dirk Lindebaum Big Data, Proxies, Algorithmic Decision-Making, and the Future of Management Theory // *Journal of Management Studies*. 2023. Volume 61, Issue 6. P. 98–107.
5. Shuai Dai Improve the Design Intelligence through Wireless Networks to Increase Agricultural Production in Provincial Countries // *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2022, Issue 1. P. 23–29.

© Гусак Егор Владимирович (ierence.common@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ДАННЫХ СОТРУДНИКОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

## CYBERSECURITY AND EMPLOYEE DATA PROTECTION IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

**O. Ivanchina**

*Summary.* In conditions of economic instability and political tension, modern Russian enterprises pay special attention to safety. Cybersecurity is becoming especially important due to the active digitalization in the Russian economy, which increases the risk of cyber-attacks and data leakage. Statistics show an increase in the number of cyber-attacks in Russia annually over the past 5 years [1]. The article discusses approaches to defining the concept of «cybersecurity» according to the points of view of various authors, the dynamics of the number of cyber-attacks in Russia over the past five years, which tends to increase. The types of cyber threats for a modern enterprise are also systematized: malicious software, phishing, denial of service attacks, vulnerability attacks, internal threats, data theft, extortionate software, supply chain attacks, social engineering. Possible protection and prevention measures are presented for each of them. An important part of cybersecurity is training employees in the basics of data security. The author concludes that modern information systems are becoming more complex and integrated, which creates new vulnerabilities and requires more advanced protection measures.

*Keywords:* security, cybersecurity, data protection, digitalization, cyberattack, cybersecurity measures.

**Иванчина Ольга Викторовна**

кандидат экономических наук, доцент, Приволжский  
государственный университет путей сообщения  
ivanchina\_o@mail.ru

*Аннотация.* В условиях экономической нестабильности и политической напряженности на современных российских предприятиях особое внимание уделяют безопасности. Кибербезопасность становится особенно важной из-за активной цифровизации в экономике России, увеличивающей риск кибератак и утечки данных. Статистика свидетельствует о росте количества кибератак в России ежегодно за последние 5 лет [1]. В статье рассмотрены подходы к определению понятия «кибербезопасность» по точкам зрения различных авторов, динамика количества кибератак в России за последние пять лет, которая имеет тенденцию к росту. Также систематизированы виды киберугроз для современного предприятия: вредоносное программное обеспечение, фишинг, атаки типа «отказ в обслуживании», атаки с использованием уязвимостей, внутренние угрозы, кража данных, вымогательское программное обеспечение, атаки на цепочку поставок, социальная инженерия. По каждому из них представлены возможные меры по защите, а также профилактике. Важной частью кибербезопасности является обучение сотрудников основам безопасности данных. Автор приходит к выводу, что современные информационные системы становятся все более сложными и интегрированными, что создает новые уязвимости и требует более продвинутых мер защиты.

*Ключевые слова:* безопасность, кибербезопасность, защита данных, цифровизация, кибератака, меры обеспечения кибербезопасности.

### Введение

С развитием технологий и увеличением количества данных, обрабатываемых и хранящихся в цифровом формате, растет и число кибератак. Компании становятся мишенями для хакеров, что делает важным наличие эффективных мер защиты. Кибератаки могут привести к значительным финансовым потерям как из-за прямых убытков (например, кража денег), так и из-за косвенных (например, потеря клиентов, снижение доверия инвесторов). Утечки данных и успешные кибератаки могут нанести серьезный ущерб репутации компании, что в долгосрочной перспективе может оказаться еще более разрушительным, чем финансовые потери. Поэтому исследование основ кибербезопасности помогает компаниям не только защитить свои активы и данные, но и обеспечить долгосрочную устойчивость бизнеса в условиях растущих киберугроз.

### Материалы и методы исследования

Исследование основано на научных статьях российских и иностранных авторов, аналитических исследо-

ваниях экспертов компании РБК и Positive Technologies. К методам исследования относятся сравнение, сопоставление, аналогия, графический и табличный метод исследования.

### Результаты и обсуждения

В условиях цифровизации кибербезопасность и защита данных сотрудников становятся критически важными аспектами управления персоналом. Обзор источников показал, что нет общепринятого определения кибербезопасности. Можно выделить три подхода к трактовке данного понятия в источниках, в том числе в зарубежном стандарте (рис. 1).

Следовательно, кибербезопасность является частью информационной безопасности и направлена на защиту систем, подключенных к Интернету, от кибератак. Она обеспечивает защиту сетей от несанкционированного доступа. По сути, кибербезопасность стремится к созданию состояния, в котором информационные системы



Рис. 1. Подходы к определению понятия «кибербезопасность»

Источник: составлено автором по данным [3, 5, 6, 8, 10]

защищены от угроз. Главная цель этих мер — защитить информацию, предотвращая или снижая риски кибератак, утечек и повреждений данных.

Киберугрозы для предприятий могут быть разнообразными, их систематизация представлена в таблице 1.

Представленное разнообразие киберугроз требует от предприятий разработки и внедрения комплексных стратегий по кибербезопасности для защиты своих данных и инфраструктуры.

Статистика свидетельствует о росте количества кибератак в России ежегодно за последние 5 лет (рис. 2).

Повышение риска киберпреступности и утечки данных обусловлено тем, что активно внедряемые в последнее время цифровые системы хранят большое количество личных данных сотрудников, включая номера социального страхования, банковские реквизиты и контактную информацию. Защита этой информации от утечек и несанкционированного доступа крайне важна для сохранения доверия сотрудников и соблюдения законодательных требований. С ростом цифровизации увеличивается и число кибератак. Компании должны внедрять надежные системы защиты, такие как антивирусное программное обеспечение, брандмауэры и системы обнаружения вторжений, чтобы предотвратить потенциальные угрозы [1, 2]. В таблице 2 представлены меры по защите от разных видов кибератак.

Важной частью кибербезопасности является обучение сотрудников основам безопасности данных. Это включает в себя информирование о фишинговых атаках, обучении созданию сложных паролей и безопасному использованию корпоративных систем. При этом постоянный мониторинг и регулярное обновление программного обеспечения и систем безопасности необходимы для

Таблица 1.

Виды киберугроз для предприятия

Вид угрозы	Характеристика
Вредоносное ПО	Программы, которые могут повредить системы, украсть данные или дать злоумышленникам доступ к сети
Фишинг	Мошеннические попытки получить конфиденциальную информацию, такие как пароли или данные кредитных карт, через поддельные электронные письма или сайты
Атаки типа «отказ в обслуживании» (DDoS)	Перегрузка серверов предприятия большим количеством запросов, что приводит к недоступности услуг
Атаки с использованием уязвимостей	Эксплуатация известных или неизвестных слабых мест в программном обеспечении для доступа к системам
Внутренние угрозы	Недобросовестные или неосторожные действия сотрудников, которые могут привести к утечке информации или другим проблемам
Кража данных	Незаконное получение конфиденциальной информации, такой как данные клиентов или интеллектуальная собственность
Вымогательское ПО	Блокировка доступа к данным или системам с требованием выкупа за восстановление доступа
Атаки на цепочку поставок	Внедрение вредоносного ПО или выполнение атак через уязвимости в программном обеспечении поставщиков
Социальная инженерия	Манипуляция людьми для получения конфиденциальной информации или доступа к системам

Источник: составлено автором по данным [1, 2, 6, 9]

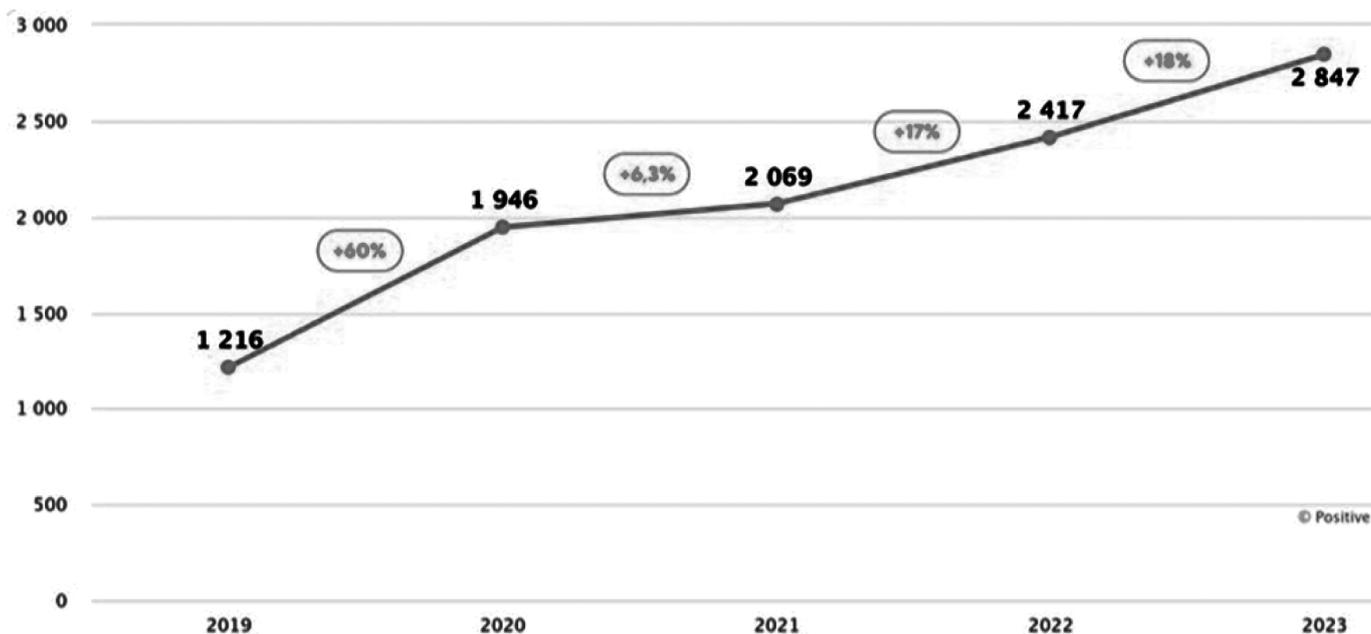


Рис. 2. Динамика количества успешных кибератак на организации в России в 2019–2023 гг.

Источник: [1]

Таблица 2.

Меры по защите от разных видов кибератак

Вид угрозы	Меры по защите
Вредоносное ПО	Использование антивирусного и антишпионского программного обеспечения. Регулярное обновление программного обеспечения и операционной системы. Ограничение прав доступа пользователей к установке программ.
Фишинг	Проведение обучения сотрудников по распознаванию фишинговых атак. Внедрение фильтров спама и фишинга в электронной почте. Использование двухфакторной аутентификации для доступа к системам.
Атаки типа «отказ в обслуживании» (DDoS)	Использование сетевых фильтров и систем предотвращения DDoS-атак. Регулярное обновление и тестирование систем защиты. Сотрудничество с интернет-провайдерами для фильтрации трафика
Атаки с использованием уязвимостей	Регулярное проведение аудитов безопасности и тестирования на проникновение. Патчинг и обновление уязвимых программных компонентов. Внедрение системы управления уязвимостями.

Вид угрозы	Меры по защите
Внутренние угрозы	Проведение проверок сотрудников и контроль доступа к конфиденциальной информации. Установление четких политик безопасности и их соблюдение. Мониторинг действий сотрудников и выявление аномалий.
Кража данных	Шифрование данных и использование систем управления идентификацией и доступом. Внедрение механизмов быстрого обнаружения и реагирования на инциденты. Регулярное резервное копирование данных.
Вымогательское ПО	Регулярное резервное копирование данных и хранение копий в безопасном месте. Обучение сотрудников распознаванию подозрительных файлов и ссылок. Использование инструментов для предотвращения и обнаружения вымогательского ПО.
Атаки на цепочку поставок	Проведение аудитов и оценка безопасности поставщиков. Установление строгих критериев безопасности для партнеров и поставщиков. Мониторинг и контроль взаимодействия с поставщиками
Социальная инженерия	Обучение сотрудников методам социальной инженерии и способам их предотвращения. Установление строгих процедур проверки личности при запросах на доступ к данным. Регулярные тренировки и тесты на устойчивость к социальным манипуляциям.

Источник: составлено автором по данным [2, 4, 7, 8, 9]

защиты от новых уязвимостей и угроз, что способствует своевременному выявлению и устранению потенциальных рисков. Все это способствует созданию безопасной цифровой среды, защищающей как данные сотрудников, так и репутацию компании.

Таким образом, представленные меры помогают минимизировать риски и защитить организацию от различных киберугроз.

### Выводы

В статье рассмотрены подходы к определению понятия «кибербезопасность» по различным источникам,

динамика количества кибератак в России за последние пять лет, которая имеет тенденцию к росту. Также систематизированы виды киберугроз для современного предприятия, по каждому из них представлены возможные меры по защите. Исследование основ кибербезопасности помогает компаниям не только защитить свои активы и данные, но и обеспечить долгосрочную устойчивость бизнеса в условиях растущих киберугроз.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Готовы ли российские компании противостоять кибератакам? // Positive Technologies. — URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/are-russian-companies-well-prepared-to-fend-off-cyberattacks/#id1> (дата обращения: 10.12.2024).
2. Как обеспечить кибербезопасность своего бизнеса в 2024 году // РБК Компании. — URL: <https://companies.rbc.ru/news/wUFvbgOC3l/kak-obespechit-kiberbezopasnost-svoego-biznesa-v-2024-godu/?ysclid=m4v0pt9uxi325948404> (дата обращения: 10.12.2024).
3. Ковалев О.Г., Семенова Н.В. Кибербезопасность современной России: теоретические и организационно-правовые аспекты // Столыпинский вестник. — 2021. — №3. — С. 14–19.
4. Количество кибератак на российский бизнес по итогам 2024 года выросло в четыре раза — подсчитали эксперты // CyberMedia. — URL: <https://securitymedia.org/news/kolichestvo-kiberatak-na-rossiyskiy-biznes-po-itogam-2024-goda-vyroslo-v-chetyre-raza-podschitali-ek.html?ysclid=m4v1l4j8x4670856853> (дата обращения: 10.12.2024).
5. Мартынюк М.С. Организационно-управленческие механизмы обеспечения кибербезопасности российских компаний // Финансовые рынки и банки. — 2023. — №6. — С. 5–9.
6. Платунина Г.П., Ермоленко Д.С. Кибербезопасность: искусная защита цифровой экономики // Экономика и качество систем связи. — 2021. — №2. — С. 30–40.
7. Сафонова М.Ф., Ципляева С.А. Кибербезопасность: проблемы и решения // Естественно-гуманитарные исследования. — 2019. — №24(2). — С. 63–68.
8. Шевко Н.Р., Казанцев С.Я. Кибербезопасность: проблемы и пути решения // Вестник экономической безопасности. — 2020. — №5. — С. 185–189.
9. Aldoriso J. Best Practices for Cybersecurity Auditing [a Step-by-Step Checklist] // Securityscorecard. — URL: <https://securityscorecard.com/blog/best-practices-for-a-cybersecurity-audit> (date of application: 10.12.2024).
10. DS DS/ISO/IEC 27032-2012 Information technology — Security techniques — Guidelines for cybersecurity. Информационные технологии. Методы обеспечения безопасности. Руководящие указания по кибербезопасности: Международный (зарубежный) стандарт от 11 сентября 2012. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/431889511> (date of application: 10.12.2024).

© Иванчина Ольга Викторовна (ivanchina\_o@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ТИПОВОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЕРВИСА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ОБ ИЗДЕЛИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ КОРПОРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

**Кравченко Александр Николаевич**  
аспирант, ФГБОУ МГТУ «Станкин»  
i@an-kravchenko.ru

DEVELOPMENT AND SUBSTANTIATION  
OF A STANDARD ORGANIZATIONAL  
AND TECHNICAL SERVICE SYSTEM  
FOR THE PRODUCT DATA MANAGEMENT  
SYSTEM OF A STATE CORPORATION  
IN THE CONTEXT OF THE DIGITAL  
TRANSFORMATION OF THE MACHINE-  
BUILDING INDUSTRY

**A. Kravchenko**

*Summary.* The article is devoted to the current aspects of digitalization of the Russian machine-building industry in terms of product data management systems (PDM) in a state corporation. The paper considers the development and justification of a standard organizational and technical system of the state corporation's PDM service, which contributes to the integration and standardization of PDM processes, which makes it possible to overcome the identified problems and achieve the necessary economic and technological effect. A standard organizational and technical system of the PDM service is proposed, which includes a centralized MDM system, a cloud architecture (SaaS) and the creation of a competence center to support and adapt the PDM industry configuration to the needs of specific enterprises.

*Keywords:* product lifecycle management, Industry 4.0, digitalization, SaaS, product data management system, PLM, PDM, T-Flex, organizational and technical systems, IT service, feasibility study.

*Аннотация.* Статья посвящена актуальным аспектам цифровизации машиностроительной отрасли России в части систем управления данными об изделии (СУДИ) в государственной корпорации. Рассматривается разработка и обоснование типовой организационно-технической системы сервиса СУДИ госкорпорации, способствующей интеграции и стандартизации процессов СУДИ, что позволяет преодолеть выявленные проблемы и достигнуть необходимого экономического и технологического эффекта. Предлагается типовая организационно-техническая система сервиса СУДИ, которая включает в себя централизованную систему НСИ, облачную архитектуру (SaaS) и создание центра компетенций для поддержки и адаптации отраслевой конфигурации СУДИ под нужды конкретных предприятий.

*Ключевые слова:* управление жизненным циклом изделий, Индустрия 4.0, цифровизация, SaaS, система управления данными об изделии, PLM, PDM, T-Flex, организационно-технической системы, ИТ-сервис, ТЭО.

## Актуальность

**В** настоящее время в РФ идет процесс цифровизации промышленности в концепции импортозамещения [1]. Для реализации этого процесса выпущен ряд распорядительных и методических документов президента и правительства РФ [2], [3], [4], [5].

Одними из наиболее часто распространенных продуктов в промышленности, подлежащих импортозамещению, являются системы управления данными об изделии [6] (далее СУДИ).

Ранее, в секторе промышленности наблюдалось неравномерное развитие предприятий в части цифро-

визации, ряд предприятий, решая собственные задачи выходили вперед, в то время как другие стагнировали, инициативы по развитию цифровизации СУДИ реализовывались на уровне отдельных предприятий, цифровизация носила неравномерный, локальный характер, направленный на решение локальных задач. В качестве платформ цифровизации в одном и том же промышленном холдинге использовались разнородные системы, в том числе зарубежные [7], [8]. Отсутствовал комплексный подход для организации СУДИ на уровне корпорации, обеспечивающий решение задач не только отдельных предприятий, но и управляющей компании, а также отрасли в целом.

На данный момент, по решению председателя правительства РФ цифровизацией поручено заниматься ИЦК [9], которые вырабатывают и внедряют решения по импортозамещению и цифровизации во вверенных им отраслях промышленности, цифровизация и импортозамещение сейчас носят централизованный, комплексный характер. Появляется возможность создания оптимальной централизованной организационно-технической системы [10] ИТ-сервисов СУДИ госкорпорации.

Требуется разработка и обоснование научно-обоснованной типовой организационно-технической системы ИТ-сервиса СУДИ машиностроительной государственной корпорации (далее — госкорпорации), обеспечивающей технологический эффект [12] путем реализации потребности, как отрасли в целом, управляющей компании отрасли, так и входящих в госкорпорацию предприятий и экономический эффект [12], выражающийся в экономии средств, прозрачности ценообразования, а также информационную безопасность данных СУДИ госкорпорации.

В исследовании проводится разработка и обоснование типовой организационно-технической системы СУДИ госкорпорации в условиях цифровой трансформации машиностроительной отрасли РФ.

### Методология исследования

В исследовании использованы методы: системного анализа, метод анализа иерархий, метод экспертных оценок, многокритериальный подход, методы принятия решений при выборе облачных ИТ-сервисов для внедрения их в предприятии [11], методы экономического обоснования ИТ-инвестиций (Microsoft REJ Framework) [12], методы оценки и выбора альтернатив.

В исследовании, для реализации системного анализа использованы данные двух особо значимых проектов по внедрению российских решений в сфере информационных технологий, данные опроса предприятий 2-х крупных госкорпораций о потребности отрасли в рабочих местах в разрезе типов СУДИ в перспективе 5-ти лет, типовые ресурсные планы для реализации проектов PLM департамента производственного консалтинга группы компаний «Борлас», стратегии цифровой трансформации 2-х крупных госкорпораций.

### Ключевые показатели эффективности СУДИ на предприятиях машиностроительной отрасли и их взаимосвязи с процессами СУДИ

Для разработки и обоснования типовой модели организационно-технической системы СУДИ применена Методология Rapid Economic Justification [12], предложенная корпорацией Microsoft, которая предусматри-

вает конкретизацию модели ТСО за счет установления соответствия между расходами на ИТ и приоритетами бизнеса. Таким образом, для применения методологии необходимо определены ключевые показатели эффективности СУДИ.

Согласно [6] применение системы УДИ дает ряд ключевых показателей эффективности. В ходе исследования определены типовые процессы СУДИ, позволяющие достигнуть заявленных показателей.

Таблица 1.

Связь показателей эффективности с типовыми процессами СУДИ

Показатели эффективности СУДИ [6]	Типовые процессы системы УДИ, позволяющие достигнуть показателей
1. В процессах проектирования и инженерных расчетах: сокращение времени проектирования на 50 %; снижение затрат на изучение выполнимости проектов — 15–40 %;	Электронный документооборот технической документации Проведение виртуальных испытаний
2. В подготовке производства: уменьшение количества ошибок при передаче данных на 98 %; сокращение времени поиска и извлечения данных — 40 %; сокращение времени планирования — 70 %; сокращение стоимости информации — 15–60 %;	Электронный документооборот технической документации Автоматизация подготовки ТД с использованием 3D моделей. Разработка управляющих программ ЧПУ по 3D модели. Планирование производства по данным технологической структуры изделия. Управление производством по данным технологической структуры изделия
3. В производственных процессах: сокращение производственных затрат на 15–60 %; повышение показателей качества — 80 %;	Управление требованиями к изделию, Планирование производства по данным технологической структуры изделия. Управление производством по данным технологической структуры изделия
4. В процессах эксплуатационной поддержки изделий: сокращение времени на изменения технической документации на 30 %; сокращение времени планирования поддержки — 70 %; снижение стоимости технической документации — 10–50 %.	Электронный документооборот технической документации Подготовка пусконаладочной и эксплуатационной документации по данным конструкторской структуры изделия и 3D модели изделия

В исследовании, на основе анализа производственной деятельности предприятий 2-х крупных госкорпораций АО «Технодинамика» и АО «Роскосмос» определены верхнеуровневые процессы ИТ-сервиса СУДИ в предприятиях машиностроительной отрасли и их взаимосвязи с основными структурами данных СУДИ.

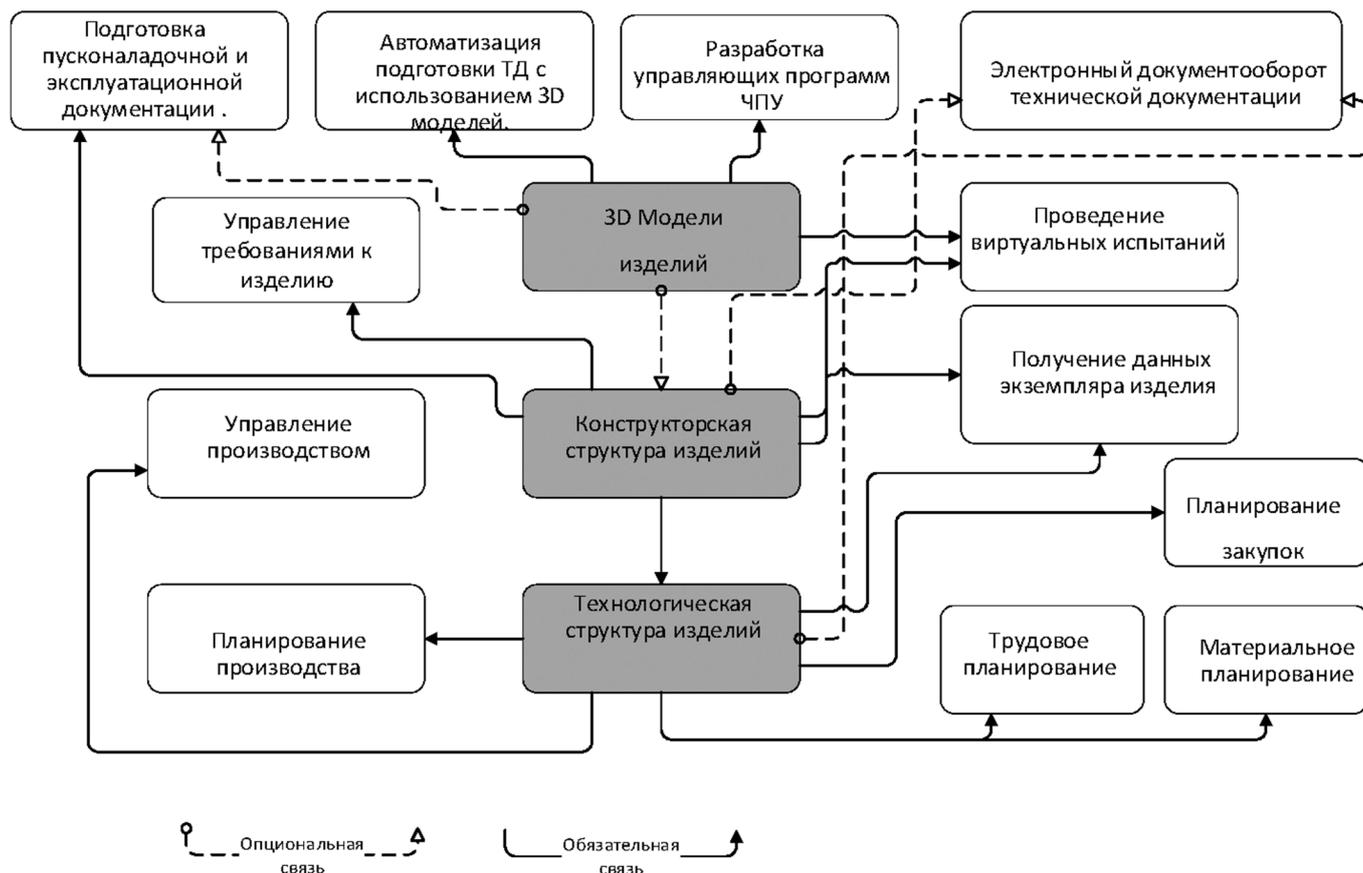


Рис. 1. Взаимосвязь верхнеуровневых процессов с основными структурами данных СУДИ

Как показано на Рис 1. для выполнения задач СУДИ необходимо получение ключевых структур данных СУДИ: 3D модели, конструкторская структура изделий, технологическая структура изделий.

**Структура бизнес-процессов УДИ по получению ключевых структур данных системы УДИ**

В ходе исследования проведен анализ и агрегирование бизнес-процессов управления данными об изделии на машиностроительных предприятиях: АО «ЩЛЗ», АО НПК «ВТ и СС», АО НПО «Базальт», ПАО «Ракетно-космическая корпорация “Энергия” им. С.П. Королёва», АО «НПО Лавочкина», также исследованы регламентирующие конструкторско-технологическую деятельность национальные стандарты ГОСТ 2.051-2013, ГОСТ 2.052-2021, ГОСТ 2.053-2013, ГОСТ Р 57193-2016, ГОСТ Р 59192-2020.

Результирующая консолидированная структура бизнес-процессов СУДИ показана на Рис. 2.

Как видно из схемы (рис. 2), в СУДИ существуют 2 основных процесса: согласование и изменение. Эти процессы проводятся с сущностями «состав экземпляра изделия, либо подмножества экземпляров» (результат конфигурирования из избыточного BOM), «документа-

ция», «требование». Под документацией будем понимать любые типы документации, конструкторская, технологическая, эксплуатационная и т.п. Этот состав процессов и их сущностей является универсальными и избыточным, то есть достаточным, но не необходимым для каждого предприятия.

**Цели СУДИ для госкорпорации и отрасли в целом**

Классификация и консолидация бизнес-процессов, полученная в результате исследования (см. Рис. 2), позволяет предположить, что для обеспечения любого машиностроительного предприятия сервисом СУДИ достаточно иметь ограниченный, общий состав цифровизованных бизнес-процессов СУДИ. В целом для отрасли этот состав будет избыточным.

Помимо целей каждого предприятия госкорпорации в достижении ключевых показателей эффективности СУДИ существуют цели, актуальные для всей госкорпорации и отрасли в целом.

1. Контроль и управление используемыми материалами и стандартными изделиями предприятиями госкорпорации.
2. Сокращение расходов и сроков реализации проектов по цифровизации и эксплуатации систем

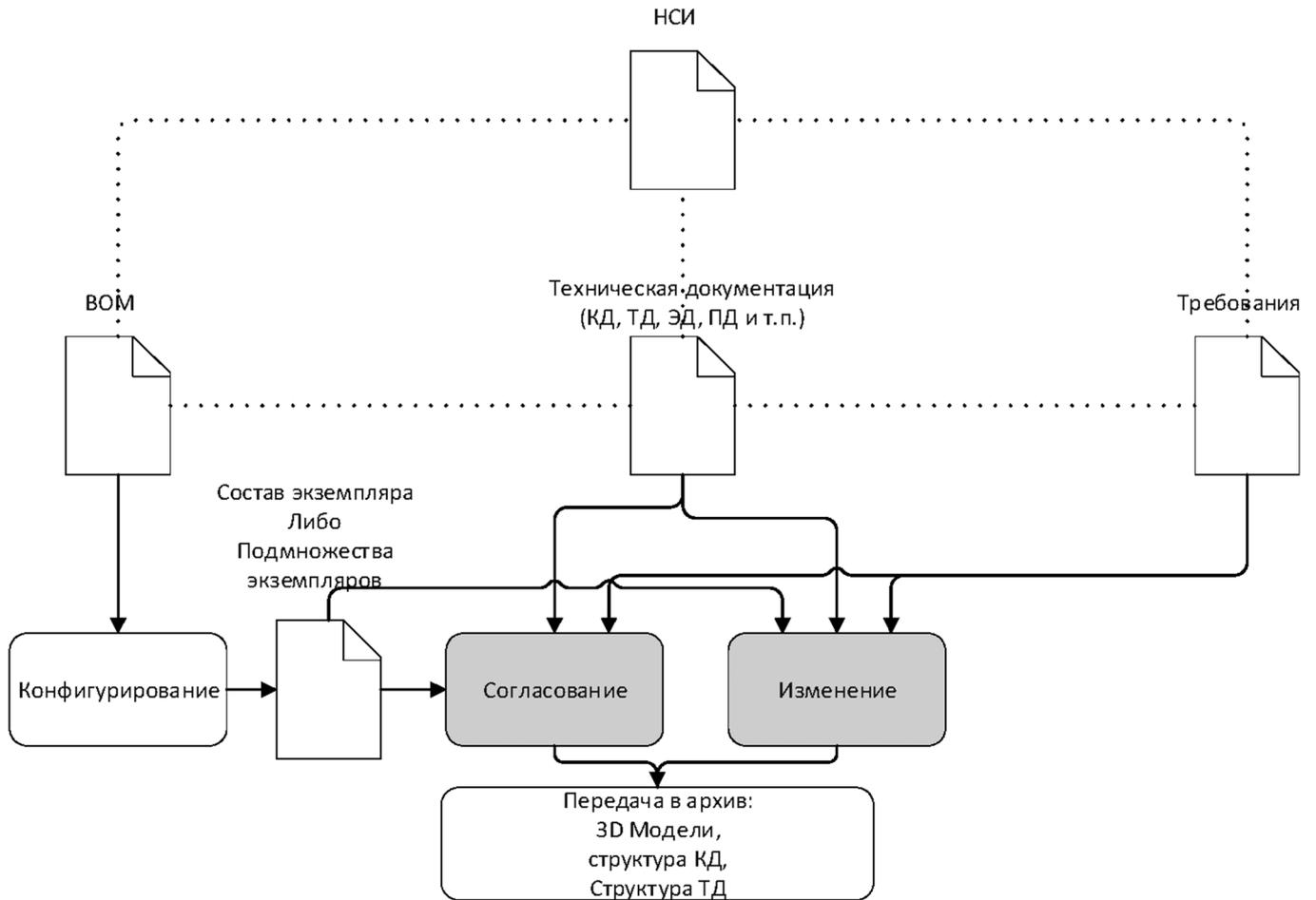


Рис. 2. Консолидированная структура бизнес-процессов СУДИ

УДИ за счет применения единых оптимизированных и опробованных решений Централизованное управление проектами внедрения СУДИ.

3. Возможность передачи конструкторской и технологической информации в структурированном виде между предприятиями госкорпорации для работы внутренней кооперации.

На Рис. 3. Архитектура СУДИ госкорпорации показано как реализуются цели СУДИ для госкорпорации и отрасли в целом.

Данные цели могут быть реализованы с применением централизованной организационно-технической системы сервиса СУДИ, включающей:

- Отраслевого оператора СУДИ — организацию, ответственную на эксплуатацию и развитие СУДИ в отрасли, центра компетенций СУДИ.
- Архитектуру сервиса по модели SaaS.

Основное сопровождаемое и тиражируемое техническое решение — отраслевая конфигурация единой информационной среды (далее ЕИС УДИ) корпорации. ЕИС УДИ разрабатывается на этапе пилотного проекта

на нескольких крупных предприятиях госкорпорации, принимается на поддержку оператором ЕИС УДИ и, в дальнейшем, адаптируется и тиражируется по всему контуру госкорпорации в соответствии с планом-графиком подключения АРМ предприятий госкорпорации к сервису СУДИ. В этом случае ключевые структуры данных СУДИ (рис.1), применяемые в госкорпорации будут совместимы и будут применяться на каждом предприятии холдинга. Уровень цифровизации предприятий отрасли будет «выравниваться».

- Централизованная система НСИ, интегрированная с СУДИ предприятий, обеспечивает возможности обмена структурированной информацией между предприятиями корпорации и общей аналитики данных НСИ.

**Отраслевая конфигурация ЕИС УДИ**

В результате исследования определен избыточный состав подсистем СУДИ, достаточный для работы СУДИ каждого предприятия госкорпорации: подсистема управления проектами, подсистема управления требованиями подсистема управления конфигурациями,

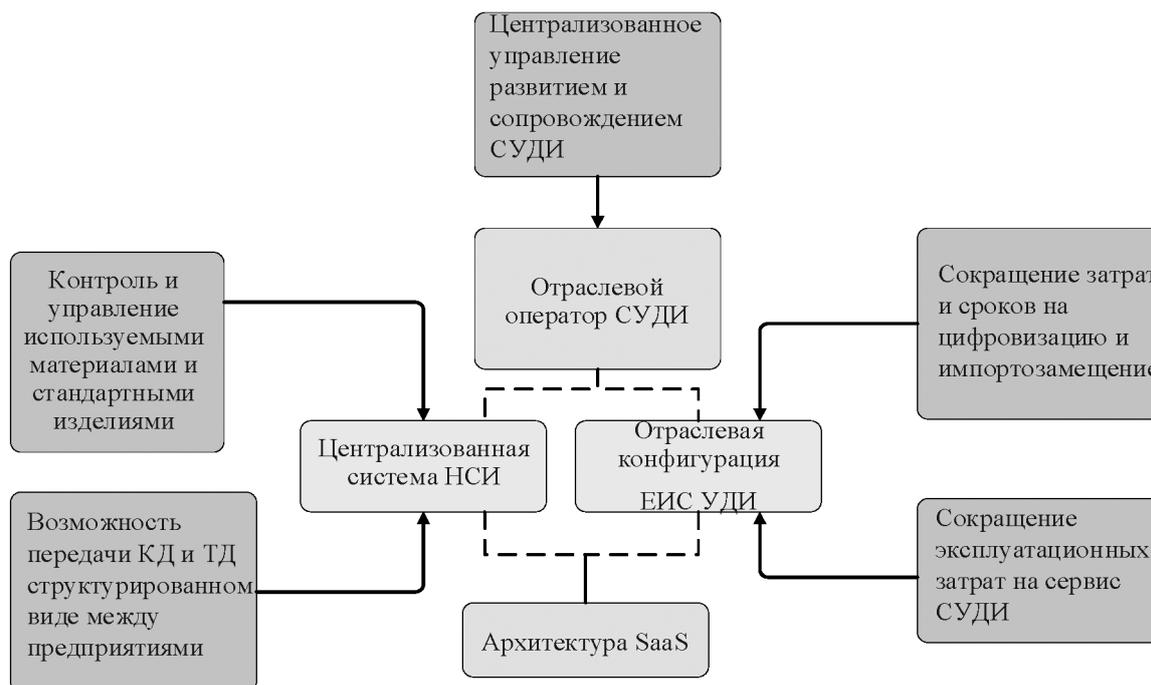


Рис. 3. Методы реализации целей госкорпорации в части СУДИ

подсистема администрирования, подсистема обмена данными подсистема управления НСИ, подсистема конструкторского проектирования, подсистема технологической подготовки производства, архив электронной документации, подсистема управления техническим документооборотом.

**Связь типовых АРМ системы УДИ с ролями пользователей в системе и профильными категориями пользователей**

В ходе исследования проведено категорирование АРМ пользователей СУДИ, определены 8 типов АРМ, определены связи Типов АРМ с профильными категориями пользователей с одной стороны и ролями пользователей (доступные права, интерфейс, подсистемы СУДИ) в системе УДИ.

Таким образом типы АРМ являются «сквозной» сущностью предложенной типовой организационно-технической системы и основой для финансово-экономической модели сервиса СУДИ.

В ходе исследования проведен опрос предприятий госкорпорации АО «Роскосмос», исследованы данные систем мониторинга использования лицензий, в ходе которого каждому типу АРМ сопоставлен комплект конкурентных лицензий на примере продуктов комплекса T-FLEX PLM. Коэффициенты в таблице обозначают долю использования лицензий, например 0,7 это означает, что из 10 конструкторов 7 в один момент времени используют лицензию.

Таблица 2.

Карта распределения лицензий по типам АРМ ЕИС УДИ, на примере типа АРМ «Конструктор»

Модули T-Flex	T-FLEX DOCs. PDM	T-FLEX DOCs. Стандарт	T-FLEX DOCs. Модуль Управление проектами	T-FLEX DOCs. Управление требованиями	T-FLEX CAD 3D	T-FLEX CAD 2D+	T-FLEX Электротехника	T-FLEX Технология	T-FLEX Технология. Нормировщик	T-FLEX DOCs. MDM	T-Flex Метрология	T-FLEX DOCs. Инструменты разработки
Тип АРМ Конструктор	00,9			00,1	00,9		00,3					

**Организационно-техническая система сервиса СУДИ в частном облаке госкорпорации**

Организационные и технические компетенции по развитию и поддержке ЕИС УДИ находятся в отраслевом операторе.

ИТ-инфраструктура сервиса СУДИ создается виртуальной с возможностью гибкого управления ресурсами, расширения «узких мест».

Предприятия получают доступ к СУДИ через корпоративную сеть передачи данных.

Система лицензирования создается единой, с подключением всех предприятий к единому пулу лицензий. Какая система лицензирования является саморегулирующийся, свободные лицензии выдаются по потребностям предприятий, таким образом, что при высвобождении лицензий одним предприятием они переходят в общий пул свободных лицензий и могут быть использованы другими предприятиями.

Основной недостаток этого типа архитектуры в соответствии с [11] является централизация данных, которая требует мер безопасности. Данный недостаток устраняется путем создания частного облака на одном из предприятий госкорпорации, являющегося оператором IaaS.

Подключаемые предприятия осуществляют оплату подключенных к СУДИ АРМ в соответствии с тарифами на услуги для каждого типа АРМ и инсталляционного платежа для оплаты работ по адаптации ЕИС УДИ. Ценообразование и бюджетирование становится «прозрачным» и удобным для планирования.

#### Технико-экономическое обоснование предложенной организационно-технической структуры СУДИ

Эффективность предложенной архитектуры сервиса СУДИ определяется достижением технологического и экономического эффектов [12]. Технический эффект достигается путем выполнения целей внедрения СУДИ отдельных предприятий, управляющей компании госкорпорации и отрасли в целом, описанных в данной статье, а также, дополнительно: высоким качеством технической поддержки и адаптации ЕИС УДИ за счет применения единого центра компетенций отраслевого оператора, агрегированием опыта и знаний, гарантированной SLA для технической поддержки СУДИ.

Экономический эффект для предприятий достигается сокращения затрат финансов и времени на внедре-

ние и эксплуатацию СУДИ, экономический эффект для инвестора определяется инвестиционными показателями проекта. Стоимость услуг вычислена затратным методом, с использованием рыночных показателей ФОТ специалистов, стоимости лицензий, стоимости аренды ИТ-инфраструктуры.

В ходе исследования установлено, что, в части эксплуатации СУДИ обеспечивается экономия от 30 % до 61 % по сравнению с самостоятельным, локальным решением. В части затрат на внедрение экономия составляет 35%, для инвестора экономический эффект выражен в финансовых показателях: IRR=86,3 %, NPV>0 при периоде окупаемости 3 года.

#### Заключение

В ходе исследования предложена и обоснована организационно-техническая система сервиса СУДИ на основе архитектуры SaaS. Определены ключевые показатели эффективности СУДИ и их взаимосвязи с процессами СУДИ. Определены цели внедрения СУДИ для управляющей компании и отрасли в целом. Определены подсистемы СУДИ, позволяющие создать ЕИС УДИ госкорпорации с избыточным функционалом, достаточным для обеспечения потребностей каждого предприятия. Разработана структура типов АРМ СУДИ, определены связи типов АРМ с пулами и долями использования лицензий (на примере продуктов T-Flex PLM), связи типов АРМ с подсистемами ролями СУДИ

Обоснован технологический и экономический эффект применения предложенной организационно-технической системы сервиса СУДИ.

Типовая организационно-техническая система сервиса системы управления данными об изделии государственной корпорации может эффективно применяться в условиях цифровой трансформации машиностроительной отрасли в Российской Федерации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кравченко А.Н. Развитие цифровой экономики в России на основе концепции индустрии 4. // Вестник науки и образования. — 2024. — №6(149). — С. 32–38.
2. Указ Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» от 21.07.2020 № 474 // Официальный интернет-портал правовой информации <http://publication.pravo.gov.ru/>. — 2020 г. — № 0001202007210012.
3. Указ Президента Российской Федерации «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» от 28.02.2024 № 145 // Официальный интернет-портал правовой информации <http://publication.pravo.gov.ru/>. — 2024 г. — № 0001202402280003.
4. Акт правительства Российской Федерации «Распоряжение Правительства Российской Федерации» от 06.06.2020 № 1512-р // Официальный интернет-портал правовой информации <http://publication.pravo.gov.ru/> — 2020 г. — № 0001202006100007.
5. Акт правительства Российской Федерации «Постановление Правительства Российской Федерации «О системе управления реализацией национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»» от 02.03.2019 № 234 // Официальный интернет-портал правовой информации <http://publication.pravo.gov.ru/>. — 2019 г. — № 0001202006100007.
6. Доросинский Л.Г., Зверева О.М. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. — Ульяновск: Зебра, 2016. — 243 с.
7. Как создавалась Единая информационная среда в ПАО «Туполев». Генеральный директор. Управление промышленным предприятием. 2021;11.

8. Маврина А.С., Кузнецов А.А. «Пример внедрения PLM-системы на ПАО «ОДК-УМПО» в рамках взаимодействия по проекту ПД-14» // Сборник докладов Всероссийской научной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений». — Уфа: 2018.
9. Приложение к протоколу президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности «Актуализированный Порядок организации работы промышленных центров компетенций по замещению зарубежных отраслевых цифровых продуктов и решений, включая программно-аппаратные комплексы, в ключевых отраслях экономики» от 16 февраля 2024 № 6пр // <https://digital.gov.ru/uploaded/files/poryadok-itsk-ot-16022024.pdf>. — 2024
10. Система и её жизненный цикл: Введение в CALS-технологии. Учебное пособие. Погорелов В.И., Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО, 182 с. 2010.
11. Разумнов С.В. Модели поддержки принятия решений при выборе облачных ИТ-сервисов для внедрения на предприятии: дис. к.т.н. Менеджмент наук: 05.13.10. — Томск
12. Куликова И.Ю. Экономическое обоснование ИТ-инвестиций: учеб. пособие / И.Ю. Куликова, Н.В. Муравьева; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. — Владимир: Изд-во ВлГУ, 2022. — 152 с.

---

© Кравченко Александр Николаевич (i@an-kravchenko.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ, ПРОВОДИМЫХ ИНТЕРНЕТ-АГРЕССОРОМ ДЛЯ УСПЕШНОГО АКТА КИБЕРБУЛЛИНГА И КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕРЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

**Крепак Иван**

аспирант, Финансовый университет  
при Правительстве РФ  
krepak.2311@yandex.ru

## OVERVIEW OF TECHNICAL MEASURES TAKEN BY AN INTERNET AGGRESSOR FOR A SUCCESSFUL ACT OF CYBERBULLYING AND COMPUTER COUNTERMEASURES

*I. Крепак*

Summary. Scientific article's purpose is to determine current tools and methods for carrying out acts of Internet aggression for a detailed study of manipulations and formation of measures to counteract cyberbullying. Internet bullying incidents from information security point of view occur with various sets of hardware and software, differ depending on intruder's motives, his information security tools knowledge, legitimate and malicious software. Cyber aggressor's separate criterion is the time restrictions, it is due to the hardware resources consumption of devices in operation. Detailed analysis of malware and information systems used was defined as a methodology. Since most acts of Internet bullying in the network space of the CIS countries occur in social networks, there are leaks of personal data and their improper use. To understand effectiveness of pinpoint qualification of information security incidents, the background state of Internet bullying in the school community was analyzed. Correlating current trends with a possible background situation contributes to the correct qualification of events and the selection of corrective technical countermeasures. Modern high school students, despite the high level of background cybercrime and the entertaining nature of such acts, are ready to positively cooperate with educational institutions' administration for passive counteraction. Even though IT development computer attacks' vector expansion, there is a positive trend in the intention to counteract.

*Keywords:* information security incident, virtual aggression, cyberbullying, OSINT, ISP, indicator of compromise, personal data leak, IS event filters, computer warfare.

*Аннотация.* Целью данной научной статьи стало определение текущего инструментария и методик проведения актов Интернет-агрессии для детального изучения манипуляций и формирования мер по противодействию актам кибербуллинга. Инциденты Интернет-травли с точки зрения информационной безопасности происходят с разнообразными наборами технического обеспечения и программных средств, отличаются в зависимости от мотивов злоумышленника, его знаний средств защиты информации, легитимного и вредоносного программного обеспечения. Отдельный критерий — временные ограничения киберагрессора, он обусловлен потреблением аппаратных ресурсов эксплуатируемых устройств. В качестве методологии был определен детальный анализ применяемого ВПО и информационных систем. Так как большинство актов Интернет-травли на сетевом пространстве стран СНГ происходит в социальных сетях, имеют место быть утечки персональных данных и их нецелевое использование. Чтобы понять эффективность точечной квалификации инцидентов ИБ было проанализировано фоновое состояние Интернет-травли в школьном сообществе. Соотнесение текущих тенденций с возможной фоновой ситуацией способствует корректной квалификации событий и подбора корректирующих технических мер противодействия. Современные старшеклассники, несмотря на высокий уровень фоновой киберпреступности и развлекательный характер подобных актов, готовы позитивно сотрудничать с администрацией учебного заведения для пассивного противодействия. Несмотря на то, что развитие ИТ провоцирует расширение вектора компьютерных атак, наблюдается положительная динамика в намерениях по противодействию.

*Ключевые слова:* инцидент информационной безопасности, виртуальная агрессия, кибербуллинг, OSINT, ISP, индикатор компрометации, утечка персональных данных, фильтры событий ИБ, компьютерное противоборство.

**А**кт Интернет-агрессии, это противоправное ИТ действие, направленное на кражу личной информации, вывода из строя вычислительного устройства подростка, публикацию личных файлов в общедоступном сетевом пространстве без возможности удаления или сокрытия или побочное мероприятие, где основной жертвой является совершенно другой человек [7, с. 163]. У каждой школы и высшего учебного заведения есть устав, где в большинстве случаев упоми-

нается недопустимость терпимости к актам физической и виртуальной агрессии. К сожалению, у большинства учебных заведений нет кадровых и финансовых возможностей полноценно бороться с Интернет-травлей. Главной самой применяемой мерой на данный момент является пассивное противодействие после того, как акт компьютерной агрессии уже произошёл, но не до [1, с. 70]. Чтобы понимать, как бороться с событиями Интернет-агрессии, необходимо понять, какие техниче-

ские средства применяет хакер и какой стратегии он придерживается.

В данном исследовании Интернет-агрессия в школьной среде изучается с перспективы программных и аппаратных средств, используемых для комплексного акта кибербуллинга. Такой подход позволяет применять предупредительные действия компьютерного противодействия, что окажет позитивное влияние, сократит частоту актов Интернет запугивания и сформирует детальное представление о возможностях реагирования на данные инциденты информационной безопасности.

В рамках этой научной статьи уделяется внимание типовым атакам, направленным на успешную утечку персональных данных и их дальнейшую эксплуатацию. Рассматриваются основные технические мероприятия по борьбе с компьютерной агрессией: опыт российских инженеров информационной безопасности, их иностранных коллег и последствия успешных актов Интернет-травли.

В исследовании приняли участие 197 учащихся обоих полов возрастом от 11 до 14 лет. Несмотря на то, что информация о руководящих принципах и технических методиках проведения актов компьютерных правонарушений, которые сейчас опубликованы на анонимных и теневых форумах, на которые обычному Интернет-пользователю сложно попасть, данные инструкции распространяются очень быстро, видоизменяются и становятся очень успешными в применении.

Существует значительный разрыв между тем, что учащиеся должны знать и текущим масштабом осведомлённости [2, с. 19]. Чтобы решить проблемы, связанные с тем, чтобы идти в ногу с темпами изменений в способах проведения Интернет-агрессорами актов компьютерной травли, необходимо найти подход, опираясь на который, будут налажены типовые и автоматические технические мероприятия и алгоритмы, которые на уровне учётной записей обезвредят подростка от основных киберугроз.

Интерактивные технологии предоставляют подросткам неограниченные возможности для входа в виртуальные сети, социального взаимодействия и исследования новых учебных сред [3, с. 67]. Обычно молодые люди воспринимают веб-активность как чрезмерную свободу. Из-за того, что взрослые, в своём большинстве не обладают ИТ компетенциями, подростки считают их малограмотными. Если рассматривать виртуальную среду с точки зрения взрослого, то Интернет для них, это изолированное место, где дети подвергаются большому количеству различных рисков и им может быть причинён вред [4, с. 16]. Взрослые, в это же время воспринимают виртуальный мир как явление изолирующее и опасное, считая молодых людей подверженными большому риску причинения вреда. Молодые люди стремятся защищать

своё сетевое пространство от лишнего внимания старшего поколения [5, с. 205]. Из-за относительно высокого уровня анонимности у злоумышленника есть возможность злоупотреблять возможностями безопасности социальной сети — производить акты Интернет-травли, что не может не беспокоить школьное сообщество.

Интернет-травля это не только пример правонарушения, проводимого с использованием информационных технологий, но и высокотехнологическое действие, направленное на заражение устройств вредоносным ПО, скачивания и модификации персональных файлов [8, с. 44], то есть, полноценная АРТ-атака направленная на учётную запись подростка или их совокупность (УЗ школьника и его близких друзей). Если обратить внимание на первоначальные шаги, то здесь чаще всего отсутствует этап разведки, так как против известных онлайн платформ применяются готовые шаблоны действий. Например, высокотехнологический фишинг чтобы получить доступ к учётной записи без второго фактора аутентификации.

#### Технические методы реализации, участники и поверхность кибератаки

Главным рассматриваемым методом стал целевой фишинг с дальнейшим применением анонимайзера. В рамках более масштабного исследования, посвященного изучению особенностей текущих актов Интернет-агрессии, группы преподавателей участвовали в тематических сессиях по темам, изложенным в этом исследовании. Учащиеся занимались совместным обучением во время сессий по сбору данных, рабочие заметки предоставлялись в качестве дополнительных учебных материалов на каждом уроке. Кроме этого, сравнивались точки зрения учащихся с глобальным восприятием проблемы.

В исследовании приняли участие 197 из 456 учеников с седьмого по десятый классы, где 78 из них учатся в седьмом классе, 61 в восьмом, 24 в девятом и 34 в десятом. Они учатся в одной и той же школе. Помимо учеников, в исследовании приняло участие 13 учителей, где 4 преподают 7 классу, трое — восьмому, ещё трое — девятому и так же трое — десятому. Исследование проводилось в 2023 году в одной из столичных школ, где обучается около 1 000 учеников возрастом от 6 до 18 лет. 44 % — дети коренных москвичей, 36 % — из Московской области, а оставшиеся 20 % — дети, чьи родители переехали в Москву из стран ближнего зарубежья. Эти показатели являются важными для школьного населения, охваченного исследованием, в 2009 году.

#### Технические возможности школы для реагирования на инцидент ИБ, направленные на мониторинг учётной записи ребёнка

Травля определяется как «намеренно оскорбительное поведение, поддерживаемое в течение определен-

ного периода времени отдельным лицом или группой, которое заставляет другого человека чувствовать себя некомфортно или имеет конечную цель — вывести из состояния эмоционального равновесия. Обычно, у школы нет собственного домена, Active Directory и LDAP для AAA. Поэтому, сложно контролировать то, как подростки ведут себя в Интернет-пространстве. Доменная компьютерная инфраструктура позволила бы обеспечить централизованное управление всех технопарком, в течение нескольких минут разворачивать комплексные бинарные пакеты и в режиме реального времени администрировать локальные сервисы.

Так же, в школах, обычно нет DLP и SIEM систем. DLP система позволила бы точно и быстро определять агрессора и его жертв, перехватывая нажатия клавиш и посещение онлайн сервисов, а SIEM собирал бы детальные логи перемещений вредоносного программного обеспечения по локальной сети. Считается, что ученик играет центральную роль в формировании набора информации, которую он хранит и обрабатывает в сетевом пространстве. Подход школы к борьбе с издевательствами включает в себя ряд стратегий [6, с. 286], в том числе: мониторинговые профилактические, корректирующие (на основании подозрений и логов) и поддерживающие меры (антивирус и другие средства проактивной защиты), а также относительно строгие ограничивающие мероприятия (блокировка доступов и предупреждающие цифровые баннеры).

Рабочие листы были адаптированы из вспомогательных материалов, созданных на основе текущих технических особенностей актов Интернет-агрессии. Случайная выборка была сформирована с помощью учеников классов с разными уровнями ИТ грамотности и различной частотой присутствия в социальных сетях. Темы и краткое содержание раздаточного материала изложены ниже. Школьникам сообщили о существующих программных инструментах, но не говорили, зачем они нужны. Когда подросток не знал ПО, ему предлагалось предположить, к какой профессиональной сфере принадлежит этот инструмент. Это измерялось путем распределения детьми десяти методик использования компьютера и программных продуктов различного характера — как легитимного ПО, так и утилит для сбора эксплоитов (Таблица 1).

Прикладное значение: Ответы относительно десяти технических мер и программных продуктов говорят о том, что, к сожалению, больше половины учеников старших классов правильно определили их принадлежность к инструментарию компьютерного злоумышленника. Следующим этапом стал опрос относительно точечных мероприятий по проведению киберпреступления (Таблица 2), где проверялось, знают ли подростки о мерах и эксплоитах для получения административного управления над хостом жертвы.

Таблица 1.  
Технические меры и ПО для проведения актов Интернет-агрессии

Номер	Технические меры и программное обеспечение	Всего, %
1	Использовать не по назначению УЗ компьютера	83
2	Создание сайта, находящегося на анонимном хостинге	75
3	«Яндекс Картинки» с интеллектуальным поиском	66
4	Сервис для приёма СМС на временные номера	65
5	«Proton Mail»	64
6	«Миррай»	63
7	Добавочный код «#31#»	58
8	«Сим-Сими»	53
9	«Metasploit»	49
10	«Зисмо»	45

Таблица 2.  
Точечные мероприятия

Номер	Название мероприятия	Всего, %
1	Реверсивный терминал	44
2	«ОСИНТ»	36
3	«Sonarqube»	26
4	Полезная нагрузка	21
5	Радио джаммер	28
6	«nmap»	27
7	«RMS»	22
8	«Radmin»	21
9	«Кейлоггер»	19
10	КИБ	17

Описание результатов: Если в Таблице 1 были обозначены основные меры и программные инструменты для проведения киберпреступлений, которые стали известны из-за массовой культуры, в частности, упоминания в подростковых сериалах про информационные технологии и популярные фильмы про хакеров, то в Таблице 2 приведены более точечные программные решения, о которых подростки могут знать только в двух случаях — интерес к профессии (стремление стать инженером ИБ) или прочитали инструкции по проведению актов компьютерной агрессии. Далее, школьникам был рассказали, что обозначают названия из 2 предыдущих таблиц и обратились с просьбой выбрать меры, которые

позволят обеспечить пассивное противодействие компьютерной угрозе и применить для расследования уже случившегося инцидента информационной безопасности. Были отобраны ученики, которые имеют интерес к информационной безопасности и им заданы вопросы, какие меры следует применять чтобы снизить частоту актов кибербуллинга и предложен список технических мер, которые необходимо выбрать, аргументируя эффективность (Таблица 3).

Таблица 3.

Меры противодействия актам Интернет-травли

Номер	Меры противодействия, выбранные учениками	Всего, %
1	Установка КИБ-систем на всех хостах в школе	35
2	«Suricata» или аналогичное open-source ПО	28
3	Белые и чёрные списки на NGFW	26
4	Теневые УЗ в школьных чатах	13
5	Установка родительского контроля	11
6	Ввод безопасного DNS на уровне сетевого роутеров	21
7	Блокировка ресурсов по доменному имени	31
8	«ОСИНТ» со стороны родителей	28
9	Ограничение Интернет-трафика в мобильном тарифе	17
10	Парсинг целевой УЗ, по ключевым словам,	16
11	Привлечение ИТ поддержки социальных платформ	11

Результаты опроса детей с явным интересом к информационной безопасности в контексте компьютерного противоборства онлайн агрессора и его жертвы говорят о том, что они не имеют активной позиции по этому вопросу, но готовы определять технические средства и мероприятия по пассивному противодействию Интернет-травле. Здесь было сформировано предположение, что данная группа детей, уже определившаяся со своей профессией, имеют высокий толлер к актам компьютерной агрессии.

Далее, после выявления агрессоров Интернет-травли среди первоначальной контрольной группы, им были заданы вопросы относительно предпочтений в технических мерах и ПО для проведения актов кибербуллинга (Таблица 4).

Результаты — У большинства подростков есть осознание того, какими способами и техническими мерами онлайн агрессор осуществляет акты кибербуллинга. Почти половина подростков знают об основных инструментах, которые использует хакер для киберпреступлений и анонимизации своего присутствия. Примерно четверть имеют знания, и, предположительно опыт относительно профессиональных утилит для проведения кибератак. Если считать интерес к специальности «Ин-

Таблица 4.

Точечные мероприятия, инструментарий для актов компьютерной агрессии с точки зрения инициаторов компьютерного правонарушения

Номер	Точечные мероприятия и программное обеспечение	Всего, %
1	Нецелевой фишинг с помощью HTML конструкторов	34
2	Целевой фишинг с загрузкой на собственный FTP-сервер	35
3	Фильтрация сообщений, поиск чувствительных данных	28.5
4	Автоматический парсинг	25
5	Криптосредства для обеспечения анонимности	25.5
6	Ручные ОСИНТ-мероприятия	24
7	Автоматизированный ОСИНТ-парсинг	23
8	Реализация многослойной анонимности	22.5
9	Фишинг многостраничных форм	21
10	Подмена QR-кода для несанкционированной авторизации	17

формационная безопасность» достаточно редким, потому что ею интересуются единицы из тех, кто планирует связать свою жизнь с ИТ профессией, то справедлив вывод о большом количестве скрытых Интернет-агрессорах, имеющих интерес к запланированным актам кибербуллинга и часто читающих тематическую литературу на теневых ресурсах.

### Киберпреступность

В Таблице 1 представлен перечень точечных мероприятий для осуществления актов Интернет-агрессии с позиции экономии времени и понятного GUI. К сожалению, несмотря на спорную информацию относительно фоновой ИТ грамотности, про которую обычно рассказывают в тематических СМИ, современная молодёжь сильно осведомлена о том, что кибербуллинг это противоправное действие, которое под силу совершить почти любому подростку, имеющему компьютер (или смартфон) и Интернет. Противоположный аргумент, который имеет положительный окрас — продолжительными и запланированными актами кибербуллинга занимается меньшинство. То есть, больше всего мы имеем дело с частными и хаотичными событиями компьютерной агрессии. Если рассматривать борьбу запланированных актов кибертравли менее приоритетной, чем решение проблемы фоновых инцидентов информационной безопасности, то при таком решении, большинство актов Интернет-травли имеют шанс быть относительно рано подавленными.

### Средства защиты от точечных мероприятий

В Таблице 2 представлены технические меры и мероприятия, способствующие успешному точечному сбору информации для дальнейшего применения в кибербуллинге. Реверсивный терминал, можно подавить актуальной версией активного антивируса с подпиской. Борьба с «ОСИИТ» мероприятиями почти неэффективна, в качестве профилактики, следует публиковать минимум личной информации в открытом доступе и в групповых переписках. Контрмера против «Sonarqube» и полезной нагрузки — автоматическая проверка загруженных файлов антивирусом. Радио джаммер, к сожалению, подавить почти невозможно. От «птар» защитит правильно настроенный фаервол. Чтобы понять успешность несанкционированной установки «RMS», «Radmin» или других RAT-приложений следует хотя бы раз в неделю проверять трей и автозагрузку. Кейлоггер можно определить, запустив полное ручное сканирование лицензионным антивирусом. Наличие КИБ определить очень сложно, потому что это легитимное ПО и вендоры стремятся его замаскировать под другое ПО, например — браузер или текстовый редактор.

### Обсуждение результатов

В этом исследовании была предпринята попытка определить текущий уровень понимания школьниками проблемы Интернет-травли с точки зрения технического осуществления задачи хакера. К сожалению, результаты, полученные в ходе опроса, схожего с собеседованием в ИТ/ИБ отдел коммерческой организации показало высокую заинтересованность и осведомлённость подростков в средствах и этапах осуществления инцидентов Интернет-агрессии. Другая проблема, которая была определена после анализа результатов анкетирования, это большой разрыв между осведомлённостью в прове-

дении со знаниями по противодействию. То есть, тех, кто знает, как противостоять кибербуллингу техническими мерами почти втрое меньше, чем потенциальных компьютерных злоумышленников.

### Заключение

Несмотря на доступность информации о применении вредоносного программного обеспечения и наличие у школьников детальных инструкций по проведению актов Интернет-агрессии проблема может быть частично решена благодаря применению технических контрмер против основных видов компьютерной травли что даст в дальнейшем возможность сфокусироваться на инцидентах информационной безопасности в плоскости социальных сетей, проведение которых больше похоже на заранее запланированную атаку, чем на хаотические попытки получить несанкционированный доступ к файлам, персональным данным и применить в дальнейших мероприятиях злоумышленника. Из-за ограниченности в финансовых ресурсах, наличии кадров и инфраструктурных возможностей, в первую очередь, необходимо обратить внимание на шаблонные атаки.

Современные школьники выросли в цифровую эпоху и воспринимают виртуальный мир совсем не так, как их родители, они обладают бесценными знаниями об использовании и даже злоупотреблении интерактивными технологиями. Аналогично, взрослые имеют доступ к соответствующей информации, но испытывают трудности с ее интерпретацией. Практикующие специалисты пытаются решать возникающие проблемы, консультируясь с подрастающим поколением, поскольку достижения в области технологий открывают новые методы проведения атак Интернет-агрессии, требуется совместный подход, при котором школьники и взрослые активно обмениваются опытом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев А.Ю. Современный подросток в пространстве информационных технологий: психологический аспект. // Вестник Костромского государственного университета. 2012. № 3. С. 67–72.
2. Любов Е.Б. Самоповреждающее поведение подростков: дефиниции, эпидемиология, факторы риска и защитные факторы. // Суцидология. 2019. № 4. С. 16–46.
3. Варакин А.В. Влияние социальных сетей на формирование ценностных ориентиров современной молодёжи. // Преподаватель XXI века. 2016. № 6. С. 205–212.
4. Бочкарёва Е.В., Стренин Д.А. Правовые аспекты кибербуллинга. // Всероссийский криминологический журнал. 2021. № 1. С. 91–97.
5. Амирова Д.К., Куницына Ю.В. К вопросу об установлении уголовной ответственности за кибербуллинг. // Учёные записки Казанского юридического института МВД России. 2022. № 1. С. 12–16.
6. Серебренникова А.В. Преступления в сфере информационных технологий: кибербуллинг и кибермобинг. // Проблемы экономики и юридической практики. 2020. № 7. С. 283–287.
7. Чин Ю.А. Уголовно-правовая характеристика кибербуллинга — травли с использованием информационных телекоммуникационных сетей. // ТипОР. 2023. № 5. С. 160–164.
8. Путинцева А.В. Криминологическая характеристика личности кибербуллера. // Научные исследования. 2020. № 2. С. 42–44.

© Крепак Иван (krepak.2311@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АЛГОРИТМЫ ДЕМОДУЛЯЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КОГЕРЕНТНЫХ РЕФЛЕКТОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

## ALGORITHMS OF ACOUSTIC SIGNALS DEMODULATION IN FIBER-OPTIC COHERENT REFLECTOMETRIC SYSTEMS

**N. Kuzmin  
S. Kachalov  
A. Zavjalov**

*Summary.* This article describes the use of coherence reflectometers with distributed acoustic sensors (DAS) for the detection and analysis of vibroacoustic events, such as pipeline leaks, the movement of people and vehicles, digging and drilling of pipelines. Work is underway to expand the areas of their use, including the protection of maritime infrastructure. Technologies to produce coherent reflectometers and RAD are well developed and are at the stage of mass production; work continues to improve their consumer characteristics, such as expanding the monitoring area, increasing accuracy and resolution, as well as improving the probabilistic characteristics of event detection and classification. The consumer characteristics of sensors are determined both by technical parameters (for example, the intrinsic noise of a coherent reflectometer, the sensitivity of the RAD) and by software and mathematics.

The article discusses the use of modern adaptive algorithms for event detection under conditions of uncertainty, which will increase the monitoring area and improve accuracy and resolution. The results of combining classical logical classification algorithms with neural network algorithms are described, which makes it possible to improve the probabilistic characteristics of event classification.

*Keywords:* optical time domain reflectometry, signal demodulation equipment, fiber optic security equipment, coherent reflectometer, signal-to-noise ratio signal processing.

**Кузьмин Николай Никитович**

Аспирант, Российский технологический университет (МИРЭА)  
16nkuz@gmail.com

**Качалов Сергей Константинович**

Аспирант, Российский технологический университет (МИРЭА)  
sergekachalov@gmail.com

**Завьялов Антон Владимирович**

Кандидат технических наук, доцент, Российский технологический университет (МИРЭА)  
a.zavjalov@gmail.com

*Аннотация.* Данная статья описывает применение когерентных рефлектометров с распределенными акустическими датчиками (РАД) для обнаружения и анализа виброакустических событий, таких как утечки из трубопроводов, движение людей и автотранспорта, копка и сверление трубопроводов. Ведутся работы по расширению областей их использования, включая охрану морской инфраструктуры. Технологии производства когерентных рефлектометров и РАД хорошо развиты и находятся в стадии серийного производства, продолжаются работы по улучшению их потребительских характеристик, таких как расширение зоны мониторинга, повышение точности и разрешающей способности, а также улучшение вероятностных характеристик обнаружения и классификации событий. Потребительские характеристики датчиков определяются как техническими параметрами (например, собственные шумы когерентного рефлектометра, чувствительность РАД), так и программно-математическим обеспечением (ПМО).

В статье рассматривается применение современных адаптивных алгоритмов обнаружения событий в условиях неопределенности, что позволит увеличить зону мониторинга и повысить точность и разрешающую способность. Описаны результаты сочетания классических логических алгоритмов классификации с нейросетевыми алгоритмами, что позволяет улучшить вероятностные характеристики классификации событий.

*Ключевые слова:* оптическая рефлектометрия во временной области, аппаратура демодуляции сигналов, волоконно-оптические средства обеспечения безопасности, когерентный рефлектометр, отношение сигнал-шум обработка сигналов.

**К**огерентный рефлектометр (или КР) и датчик распределенного акустического воздействия являются устройствами, предназначенными для контроля виброакустических процессов на протяженных объектах. В англоязычной литературе они также известны как Phase-sensitive Optical Time Domain Reflectometer (OTDR).

В настоящее время когерентные рефлектометры широко используются в различных областях техники [1,

с. 21; 2], существует множество разработанных и проверенных схем [3], использующих различные эффекты отражения в оптическом волокне. Однако в целях оптимизации методов контроля виброакустических процессов на длинных объектах с использованием когерентных рефлектометров (КР) и распределенных акустических датчиков требует проведения анализа их характеристик и поиска эффективных методов обработки данных.

**Постановка задачи**

К основным задачам статьи относится анализ применения существующих технологий, поиск новых схем и методов обработки данных для улучшения характеристик и эффективности использования КР и датчиков распределенного акустического воздействия (РАД), а также их оценка.

**Анализ применения когерентных рефлектометров и распределенных акустических датчиков**

Отраженные сигналы, выделяемые в соответствии с законами отражения от неоднородностей оптического волокна, показаны на рисунке 1. Из рисунка видно, что только при рэлеевском рассеянии отсутствует сдвиг частоты света при отражении. В этом случае концепция когерентного рефлектометра может быть основана исключительно на технологии оптической рефлектометрии во временной области (OTDR) и напрямую использовать когерентность зондирующего и отраженного импульса. Для использования нелинейных эффектов, таких как рамановское и бриллюэновское рассеяние, необходимо применение значительно более напряженных электрических полей и, следовательно, мощного лазерного излучения (по крайней мере на три порядка больше, чем для рэлеевского рассеяния) [3].

Одним из преимуществ когерентного рефлектометра является возможность использования распределенных датчиков, таких как распределенные акустические датчики (РАД). Для разработки протяженных акустических систем наиболее подходят рэлеевские когерентные рефлектометры.

После того, как было установлено, что рефлектометры могут быть использованы для контроля технического состояния волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и в качестве протяженных датчиков различных внешних воздействий, было разработано множество схем и методов обработки данных когерентных рефлектометров. Когерентность рефлектометра в этом случае необходима для использования интерференции отраженного (или рассеянного) и опорного сканирующего импульсов. Применение импульсного излучения при сканировании распределенного волоконного датчика необходимо для обеспечения пространственного разрешения по длине ВОЛС. Например, при сканировании одиночным импульсом длительностью  $\tau$  пространственное разрешение может быть рассчитано по формуле  $L = v \cdot \tau / 2$ , где  $v$  — групповая скорость света в волокне. А для поддержания когерентности источника необходимо сохранять эту координацию в течение временного интервала  $\tau$ . При сканировании двумя импульсами с задержкой по времени  $t$ , требование когерентности соответствует этому временному интервалу, и пространственное разрешение становится равным  $L = v \cdot t / 2$ .

**Устройство и принципы работы когерентного рефлектометра**

Большинство исследований, посвященных анализу работы когерентных рефлектометров на основе измерения фазы рассеянного света, показывают, что успешная регистрация различных внешних воздействий возможна при фазовой чувствительности  $\Delta\phi \approx 10^{-3}$  радиан, что составляет примерно  $0.1 \div 1$  нс.

**DTSS Principle: Light Scattering Effects**

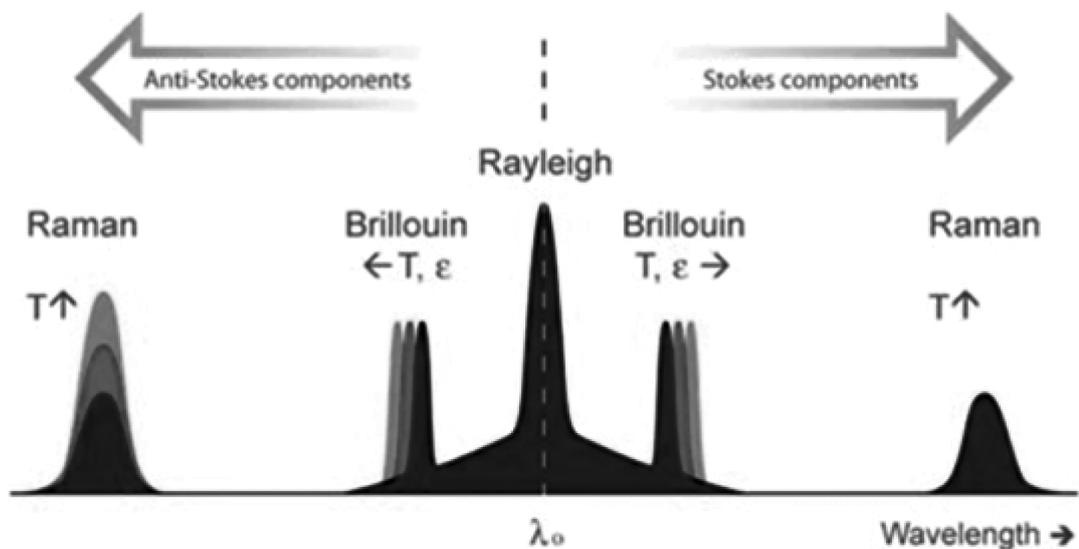


Рис. 1. Изменение частоты отраженного света при разных процессах рассеяния

Поскольку разность фаз между двумя точками рассеяния в волокне пропорциональна длине этого участка волокна, необходимую чувствительность (при прочих равных условиях) можно достичь путем увеличения длины  $L$ , то есть увеличением длительности импульса или задержки  $t$  [4, с. 15]. Обычно считается, что такой подход снижает пространственное разрешение с увеличением  $L$ . В большинстве исследований упускается из виду тот факт, что увеличение  $L$  может быть компенсировано путем сворачивания ВОЛ в спиральную форму. Если шаг спирали выбран равным  $d$ , а диаметр спирали —  $D$ , то пространственное разрешение составит  $L \cdot d / \pi \cdot D$ . Шаг спирали может быть выбран сравнимым с диаметром ВОЛ, и пространственное разрешение может быть значительно увеличено относительно  $L$ .

В процессе улучшения характеристик когерентного рефлектометра могут возникнуть следующие проблемы:

- увеличение толщины кабельной линии, что значительно превышает диаметр волокна;
- увеличение требований к когерентности источника, а также дополнительные трудности в поддержании заданной поляризации импульса.

Хотя толщина кабельной линии увеличивается, она все еще может быть удовлетворительной для большинства конструкций, примерно от 15 мм до 20 мм. Чтобы поддерживать заданную поляризацию, необходимо включить в конструкцию КР подстроечный вращатель плоскости поляризации. Для достижения точности определения разности фаз  $\Delta\varphi \approx 10^{-5}$  радиан требуется уменьшить уход несущей частоты импульса за время  $t$  до  $\Delta f \approx 100$  Гц на временном интервале около 5 нс при длине волны волокна 1550 нм. Для выявления внешнего воздействия в КР часто требуется долговременная стабильность на указанном уровне, что обязательно учитывается при работе с крайне низкой рабочей частотой. При работе с гидроакустическими сигналами с частотами не менее 5 Гц, такие усложнения схемы КР, как в указанной задаче, могут быть излишними. Однако при длине волокна 8 м требования к кратковременной стабильности лазера ужесточаются. Применение различных покрытий на волокне позволяет усилить фазовую чувствительность к внешнему гидроакустическому воздействию, что может потребовать увеличения чувствительности волокна для регистрации гидроакустического давления [5]. Использование специальных волокон связывается не только с внешними покрытиями, усиливающими чувствительность, но также с увеличением рэлеевского рассеяния. Для этого могут использоваться дополнительные примеси или создание рассеивающих центров. Эти методы позволяют увеличить отраженный сигнал и обеспечить большую дальность сканирования чувствительной ВОЛ. Однако следует учитывать возможность возникновения нелинейных эффектов, таких как бриллюэновское рассеяние, которого можно избежать

использованием сдвинутого по частоте излучения мощного лазера и удаленных эрбиевых усилителей, накачиваемых мощными лазерами со сдвигом по длине волны.

Обработка данных, получаемых фотоприемником, всегда осуществляется в цифровом формате. Для этой цели необходимо использовать аналого-цифровые преобразователи (АЦП) с частотой дискретизации от 100 МГц до 5 ГГц и разрядностью данных от 12 до 16 бит. При обработке цифровых данных рекомендуется применять быстрые алгоритмы, такие как быстрое преобразование Фурье (БПФ), корреляция сигналов, согласованная фильтрация, адаптивные фильтры, фильтры Кальмана и нейронные сети. Нейронные сети, в основном, используются для определения возможного источника сигнала при анализе амплитуды, спектра и длительности зарегистрированного воздействия. При высокой скорости поступления данных начальную их обработку следует осуществлять с использованием аппаратных устройств, таких как программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) и микропроцессоры со специализированными программами. Отображение данных, управление и настройка измерительного процесса, а также передача сообщений оператору выполняются на персональном компьютере.

Важной задачей обеспечения стабильной работы является согласованное управление различными компонентами, такими как лазер, амплитудные и фазовые модуляторы, а также синхронизация их работы с АЦП. Для этого компоненты могут требовать своих собственных напряжений питания и управления, что подразумевает включение в состав системы согласующих цепей управления этими устройствами.

Для выполнения задач мониторинга состояния и контроля работоспособности необходимо включить контрольные цепи с тестовыми сигналами и соответствующими управляющими словами.

#### Алгоритм демультипликации на основе точечных дефектов

В работе [6] была предпринята попытка улучшить чувствительность обычного телекоммуникационного волокна к акустическим воздействиям в ВОЛС путем введения дополнительных рассеивающих отражателей, фокусировкой сверхбыстрого лазера через оболочку волокна. Эти вписанные отражатели продемонстрировали коэффициент отражения 53 дБ (значительно превышающий обычное рэлеевское рассеяние) при минимальных потерях на 100 точках отражения всего 0,01 дБ. Вместо использования брэгговских решеток, включая чирпированные, и внесения дефектов рассеяния по всей длине волокна, авторы предложили вносить дополнительные рассеивающие точечные дефекты в оболочку ВОЛС, счи-

тая этот подход более эффективным для использования в обычных телекоммуникационных волокнах на больших расстояниях. Для создания этих отражателей была спроектирована специализированная установка с использованием одномодового телекоммуникационного волокна. Юстировочное устройство, фокусирующее сверхбыстрый импульс Yb:KGW лазера с удвоенной частотой 515 нм на волокне, выполняло свою задачу через каждые 20 метров. В общей сложности было создано 10 точечных дефектов, распределенных на расстоянии 600–800 м, как показано на рисунке 2. Для оценки затухания на этой же установке было проведено измерение с использованием 300 точечных отражателей.

Результаты измерений показали, что вносимое затухание не превышало 0,01 дБ на 100 отражателей.

В когерентном рефлектометре с использованием данного датчика была применена схема фазовой модуляции оптического разветвителя с двумя импульсами. Схема изображена на рисунке 3. Этот метод позволил измерить фазовые различия между двумя импульсами в зависимости от точки отражения. Размер зоны отражения в 2 м был определен импульсом длительностью 20 нс, а апертура датчика в 20 м была установлена с помощью линии задержки. Это позволило наблюдать реакцию датчиков как на точечные отражатели, так и на об-

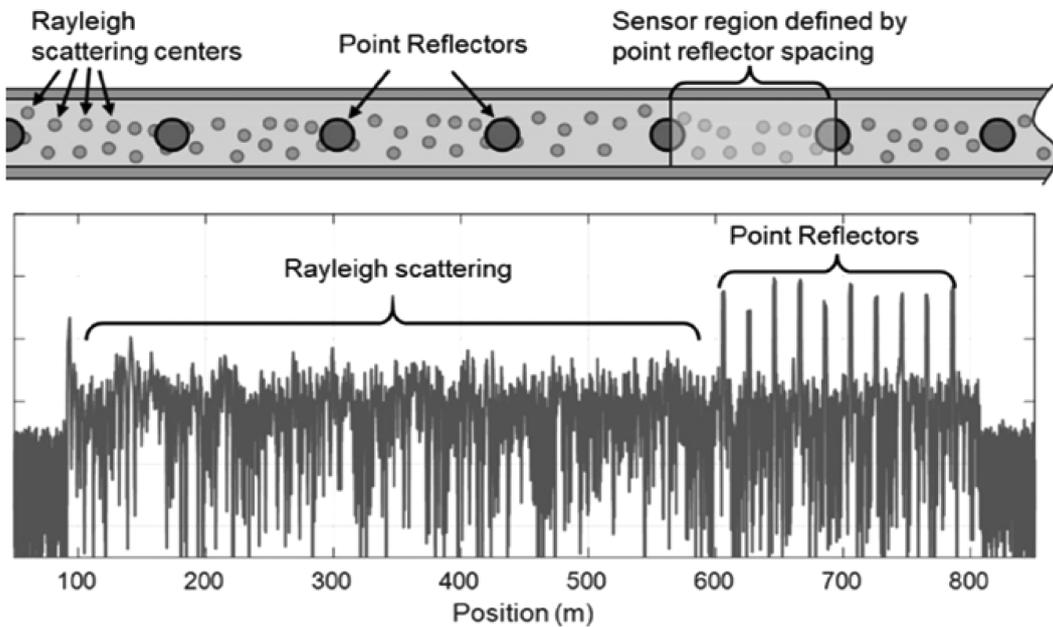


Рис. 2. Схема внесения точечных дефектов, положения результирующего датчика и рефлектограмма ВОЛС

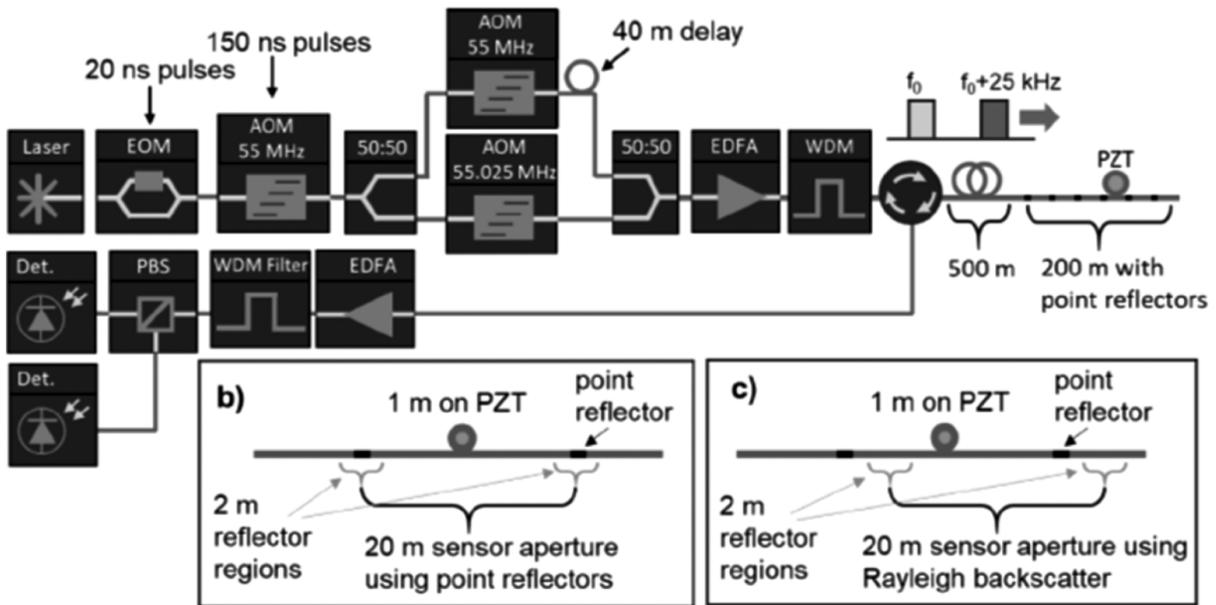


Рис. 3. Схема установки для сравнительного анализа рэлеевского отражения от обычного волокна и оснащенного дополнительными рассеивающими центрами

ратное рассеяние от чистого волокна в одной установке. Эксперимент показал, что средний фазовый шум датчиков на 20 дБ ниже, чем у рэлеевских датчиков на чистом волокне. Для оценки влияния степени когерентности света была использована частотная модуляция лазера с частотой 100 Гц. Результат показал, что датчик, сформированный с использованием точечных отражателей, точно измеряет фазу тестового сигнала, в отличие от простого рэлеевского рассеяния, где были обнаружены замирания сигнала и резкие изменения фазы.

Аналогичная схема описывается так же в статье [7], рисунок 4. На верхних частотах рабочего диапазона частот 2,5 кГц для оптоволоконного датчика с длиной 10 км предполагается динамический диапазон на уровне примерно 70 дБ, и только для частот ниже 220 Гц в 96 дБ. Улучшение динамического диапазона на верхних частотах возможно только путем уменьшения собственных фазовых шумов оптоволоконного датчика, например, с использованием метода гетеродинирования. Анализ литературы показал, что требование по минимально регистрируемому относительному удлинению оптоволоконного датчика завышено в 2,5 раза из-за его связи с коэффициентами собственных шумов оптоволоконного датчика, требование которых выполняется.

Усилители ASE EDFA1 и EDFA2 были усилены с помощью двух узкополосных брэгговских решеток FBG1 и FBG2 с коэффициентом отражения 90–95 % и шириной отражения  $\Delta\lambda=3$  нм

Кроме того, полученное значение регистрируемого относительного удлинения ( $3 \cdot 10^{-10}$ ) находится в диапазоне от 0,1 нε до 1 нε, который необходим для успешной регистрации различных внешних воздействий. Требование по динамическому диапазону в 96 дБ, кажется, невыполнимым на верхних частотах рабочего диапазона оптоволоконного датчика без использования оптоволоконного датчика без использования оптоволоконного датчика с регулярно расположенными слабыми отражателями вдоль волокна (ВБР или точечные дефекты) в качестве чувствительного элемента РАД.

### Алгоритм демультимпликации на основе метода фазового разнесения

Метод стимулирования датчиков с использованием двойных импульсов (метод фазового разнесения) детально описан в статье [8] и патенте [9]. На рисунке 5 показана схема установки и последовательность зондирующих импульсов. Основное отличие этого метода заключается в том, что после акустооптического модулятора (АОМ) входного тракта распределенного датчика установлен фазовый модулятор, и формируется последовательность сдвоенных зондирующих импульсов. Дальнейшая модуляция — фазовая производится так, чтобы последующий импульс в посылке был сдвинут по фазе световой волны на заданное значение радиан. В статье использовалась последовательность  $\delta=2\pi/3, -2\pi/3, 0$ .

Последовательности парных импульсов, вводимые в волоконный тракт, таким образом разделяют-

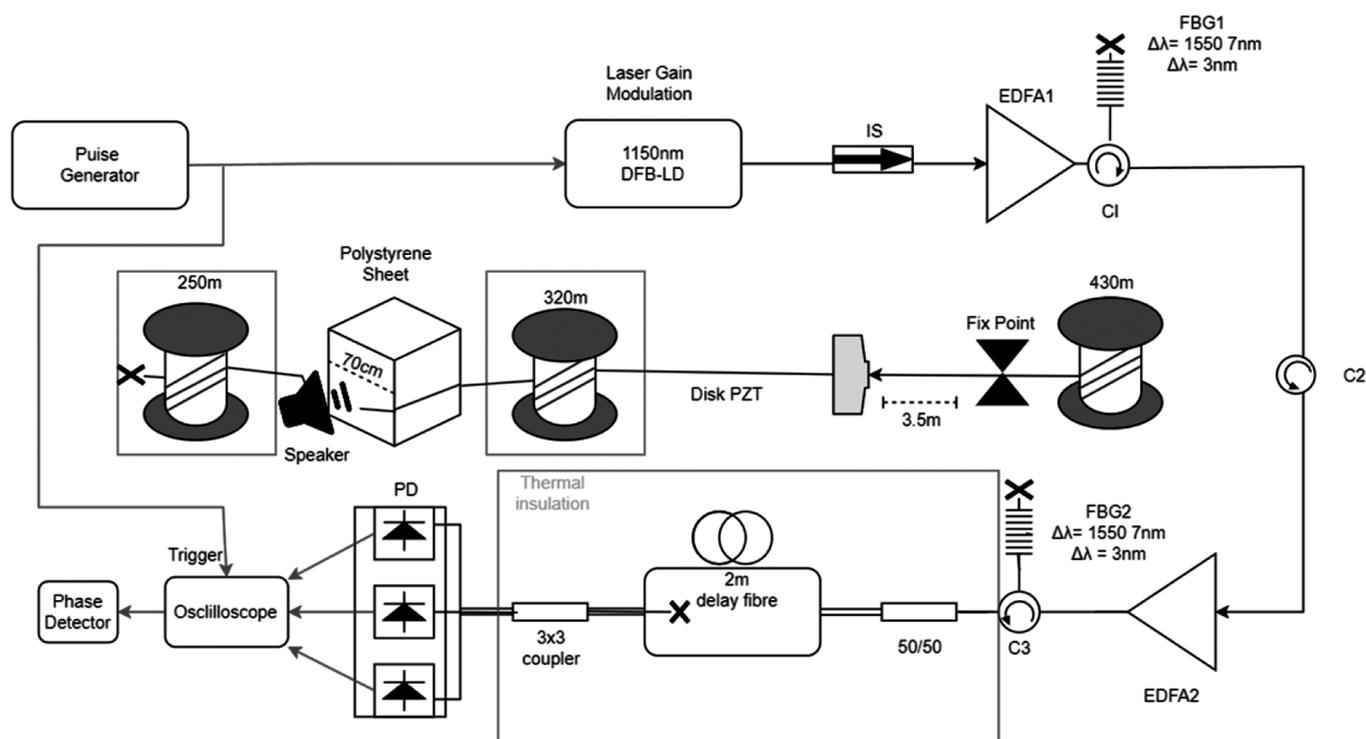


Рис. 4. Схема конфигурации с фазовым разделением для трех каналов детектирования

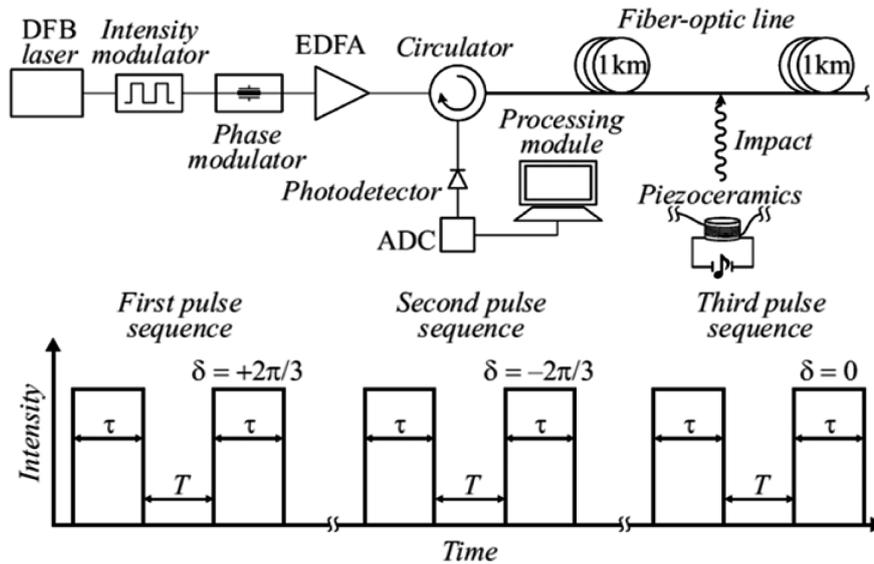


Рис. 5. Структура зондирующих импульсов с модуляцией относительной фазы (метод фазового разнесения)

ся на 3 группы в соответствии со значением фазового смещения. Первая, вторая и третья группы импульсов вводятся в волоконный тракт рефлектометра последовательно и циклически, через время, необходимое для распространения пары импульсов до конца волоконного тракта и обратно. На входе фотодетектора происходит интерференция пары импульсов из последовательных групп, рассеянных в обратном направлении. В силу передвижения импульсов вдоль ВОЛС и заданной задержки  $T$ , интерференция происходит между первым импульсом, отраженным от области, удаленной на расстояние  $T/2$  от области рассеяния второго импульса (так что они приходят на вход фотодетектора одновременно). Именно изменение фазы световой волны в этой области под внешним воздействием необходимо определить, и именно она выступает в роли фазового датчика.

Предложенный алгоритм детектирования для когерентного рефлектометра имеет возможность динамически изменять пространственное разрешение путем изменения временной задержки между парными импульсами в соответствии с требованиями измерений, что отличает его от существующих схем.

**Выводы**

Исследование проведено с целью анализа применения когерентных рефлектометров и распределенных акустических датчиков (РАД) для повышения эффективности использования кабельных систем обеспечения безопасности и обнаружения виброакустических событий, таких как утечки из трубопроводов и движение транспорта.

Экспериментальные данные и анализ показали, что применение когерентных рефлектометров в сочетании

с распределенными акустическими датчиками позволяет улучшить характеристики обнаружения и анализа виброакустических событий. В частности, использование когерентных рефлектометров позволяет контролировать состояние волоконно-оптических линий связи и в качестве протяженных датчиков различных внешних воздействий. Динамический диапазон 96 дБ может быть достигнут только при использовании в качестве чувствительного элемента РАД оптоволокна с регулярно расположенными вдоль волокна слабыми отражателями. В существующих КР динамический диапазон около 30 дБ.

Предлагается метод внесения дополнительных рассеивающих отражателей для улучшения чувствительности обычного телекоммуникационного волокна к акустическим воздействиям в волоконно-оптических линиях связи. Этот подход позволяет значительно улучшить коэффициент отражения  $-53$  дБ (что значительно больше обычного рэлеевского рассеяния), и минимизировать потери сигнала — на 100 точек отражения всего 0,01 дБ. При обработке и анализе данных, предлагается использовать алгоритмы обработки цифровых данных, такие как быстрое преобразование Фурье, корреляция сигналов, согласованная фильтрация, адаптивные фильтры, фильтры Кальмана и нейронные сети. На стадии обработки цифровых данных также рекомендуется использовать аналого-цифровые преобразователи (АЦП) с высокой частотой дискретизации и разрядностью данных для точного считывания сигналов.

Исследование представляет новый подход к применению когерентных рефлектометров и распределенных акустических датчиков для повышения эффективности кабельных систем связи и обнаружения виброакустических событий, а также предлагает метод улучшения чув-

ствительности обычного телекоммуникационного волокна через внесение дополнительных рассеивающих отражателей. Использованная схема позволила измерить относительную фазу между двумя импульсами в зависимости от места отражения. Размер области отражения 2 м определялся импульсом с длительностью 20 нс, а апертура датчика 20 м задавалась линией задержки. Это позволило одной установкой одновременно наблюдать отклик датчиков на точечных отражателях и рэлеевского обратного рассеяния. Показано, что средний фазовый шум датчиков на 20 дБ меньше шума рэлеевских датчиков на чистом волокне.

Рассмотрены современные тенденции разработки когерентных рефлектометров, их применение с распределенными акустическими датчиками, также статья описывает продолжающуюся работу по улучшению потребительских характеристик этих устройств, включая расширение зоны мониторинга, повышение точности и улучшение вероятностных характеристик обнаружения и классификации событий. Технические параметры и программно-математическое обеспечение также рассматриваются как ключевые факторы определения потребительских характеристик.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Таранов М.А., Горшков Б.Г. и др. Оптическая рефлектометрия, метрология и сенсорика. настоящее и будущее // Приборы и техника эксперимента. — № 5. — 2023. — С. 5–23.
2. Taylor H.F. et al. Apparatus and method for fiber optic intrusion sensing. — U.S. patent 5,194,847 (March 16, 1993).
3. Кульчин Ю.Н. Распределенные волоконно-оптические измерительные системы. — М.: Физматлит, 2001.
4. Бухарин М., Горбуленко В. и др., Когерентный рэлеевский рефлектометр. Теперь и измерение температуры. // Фотон-экспресс. — № 2 (154). — 2019. — С. 14–19.
5. Fuertes V. et al. Engineering nanoparticle features to tune Rayleigh scattering in nanoparticles-doped optical fibers. — 2021. — URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88572-2>, [www.nature.com/scientificreports](http://www.nature.com/scientificreports),
6. Redding B.M., Murray J. et al. Low-noise distributed acoustic sensing using enhanced backscattering fiber with ultra-low-loss point reflectors. // Optics Express. — Vol. 28, No.10/11. — May 2020.
7. Masoudi et al. Distributed optical fibre audible frequency sensor. // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. — June 2014. — DOI:10.1117/12.2058484.
8. Алексеев А.Э. и др. Когерентный фазочувствительный рефлектометр с амплитудно-фазовой модуляцией зондирующих импульсов // Письма в ЖТФ. — Том 41, вып. 2. — 2015.
9. Горшков Б.Г., Заирный Д.В. и др. Когерентный оптический рефлектометр для обнаружения вибрационных воздействий: Патент на изобретение №2477838 Российская Федерация. — 2011.

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

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ СТИМУЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОМНИКАНАЛЬНОГО ПРОДВИЖЕНИЯ ТОВАРОВ И УСЛУГ

## APPLICATION OF INCENTIVE MECHANISMS IN THE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR OMNI-CHANNEL PROMOTION OF GOODS AND SERVICES

L. Movsisyan  
T. Smolentseva

*Summary.* This paper considers the problems of matrix organizational structures on the example of a typical Internet marketing agency. It proposes a model of management of organizational systems in the field of promotion to support decision support. It describes in detail the application of the incentive mechanism that is directed on employee business activities in matrix structures to minimize conflicts in the joint use of resources by different management divisions. The nature of such conflicts is revealed, as well as possible ways of resolving also are described. An example of evaluation and interpretation of the realizability condition of interaction between divisions in the cooperation mode is given.

*Keywords:* organization systems management, promotion, Internet marketing, matrix organizational structure, incentive mechanisms, collaboration mode.

**Мовсисян Леон Каренович**  
аспирант, Российский технологический университет МИРЭА  
movsisyan-leon@mail.ru

**Смоленцева Татьяна Евгеньевна**  
доктор технических наук, доцент, Российский технологический университет МИРЭА  
smoltan@bk.ru

*Аннотация.* Рассматривается проблематика матричных структур управления на примере типового агентства интернет-маркетинга. Предлагается модель управления организационными системами в области продвижения для поддержки сопровождения принятого решения. Детально описывается применение механизма стимулирования деятельности сотрудников в матричных структурах для минимизации конфликтов при совместном использовании ресурсов различными дивизионами управления. Раскрывается природа подобных конфликтов между отделами, а также описываются возможные способы их разрешения. Приводится пример оценки и интерпретации условия реализуемости взаимодействия отделов в режиме «сотрудничество».

*Ключевые слова:* управление организациями системами, продвижение, интернет-маркетинг, матричная организационная структура, механизмы стимулирования, режим «сотрудничество».

### Введение

Данная статья является продолжением исследования, которое авторы проводят в области применения различных инструментов управления в организационных системах поддержки принятия решений задач омниканального маркетинга.

Примером компаний, предоставляющих услуги продвижения в интернете, служат агентства интернет-маркетинга, которые в свою очередь осуществляют свою хозяйственную деятельность обычно в проектных группах, где участники обладают навыками, требующимися для решения поставленных задач. В силу этого, для оперативного управления командами, целью чего является обеспечение роста эффективности реализации проектной деятельности, а также повышения качества предоставляемых услуг посредством непрерывного взаимодействия с заказчиком, в типовом агентстве интернет-маркетинга используется соответствующая информационная система с элементами прикладной аналитики [1].

Согласно предложенной ранее модели управления организационными системами (ОС) поддержки принятия решений для задач омниканального продвижения, проблемы контроля проектных групп, в которых задачи могут быть делегированы сотруднику, состоящему одновременно в нескольких командах, проявляются на этапе сопровождения принятого руководством решения. Данные трудности возникают из-за причин внутренних (особенности самой модели организационной структуры агентства интернет-маркетинга), и внешних (изменения в условиях сотрудничества с поставщиками рекламных коммуникаций). Таким образом в центре данной работы рассматриваются способы минимизации внутренних конфликтов управляющих органов.

В данной статье внимание авторов акцентировано на анализе различных механизмов управления, а также на обосновании их применения для последующего проектирования комплексного решения, которое позволило бы проводить автоматизацию на различных уровнях корпоративного управления, согласно характеристикам объекта исследования.

### Описание проблематики

Модель организационной структуры типового агентства интернет-маркетинга является матричной, особенностью которой является высокий риск подчинения сотрудника одновременно нескольким дивизионам находящимся либо на одном, либо на различных уровнях иерархии. Зачастую двойное подчинение неизбежно, где управляющими единицами могут выступать дивизионы (отделы) с различными функциями, например, такими, как: контролирующая (менеджер проектов), обеспечивающая (отдел интернет-маркетинга), координирующая (отдел по работе с клиентами). Одним из вариантов сохранения высокого уровня эффективности в процессах достижения стратегических целей является сотрудничество управляющих дивизионов с использованием минимального количества ресурсов, т.е. полное исключение дублируемых организационных единиц.

Проблема управления в матричных структурах особенно актуальна, на этапе поддержки сопровождения принятого управленческого решения из-за наличия процессов назначения задач сотрудникам, а также их координации, анализа и оценки. В связи с актуальностью данной проблемы на этапе поддержки сопровождения принятого управленческого решения возникает необходимость разработки соответствующих интеллектуальных систем на основе уже имеющихся средств автоматизации путем усовершенствования последних с помощью дополнительных алгоритмов и механизмов обработки больших массивов данных.

Решением может стать использование механизмов стимулирования в организационных системах поддержки принятия решений. Данная гипотеза принята авторами и рассмотрена далее. Пример организационной структуры агентства интернет-маркетинга отображен на Рисунке 1 [1, 2].

Модель управления ОС поддержки принятия решений для задач омниканального продвижения отражена на Рисунке 2.

Согласно этапам данной модели группы, содержат следующие шаги:

1. Определение ролей ответственности.
2. Анализ результатов решения и их отклонений от целевых показателей.
3. Принятие корректирующих воздействий.
4. Оценка результатов и стимулирование участников реализации решения.
5. Идентификация улучшений и корректировок для следующих решений.

### Варианты решения

На основании описанной проблематики и сформированной модели управления возможным решением

по организационному обеспечению процесса междивизионального взаимодействия в распределении задач сотрудникам может выступить комбинация следующих инструментов: подход PDCA, сбалансированная система показателей, методика поощрения и признания, а также механизм стимулирования в матричных структурах [3]. Далее авторы предлагают ознакомиться с каждым из инструментов.

PDCA (Plan-Do-Check-Act), также известный как Цикл Деминга, представляет собой систематический подход к непрерывному улучшению. Он состоит из четырех этапов:

1. Планирование. Выявление проблемы и разработка плана для улучшения.
2. Выполнение. Реализация плана в масштабе малого проекта или в виде пилотного проекта.
3. Проверка. Измерение и анализ результатов для оценки эффективности реализованного плана.
4. Действие. В случае успеха реализовать улучшенный план в большем масштабе; в противном случае скорректировать план и повторить цикл.

Преимущества и особенности:

1. Систематическое улучшение, способствующее структурированному подходу к решению проблем, развивает корпоративную культуру непрерывного совершенствования.
2. Принятие решений на основе наиболее актуальных данных.
3. Итеративность подхода, позволяющая компаниям адаптироваться к изменяющимся условиям и быстро вносить улучшения [4].

Сбалансированная система показателей (ССП) является инструментом управления, который помогает компаниям оценить свою деятельность и достичь стратегических целей. Она включает в себя финансовые, клиентские, внутрипроцессные, обучающие и развивающие точки зрения. [5]

Преимущества и особенности:

1. ССП помогает связать стратегические цели компании с конкретными мерами и показателями производительности.
2. Система предоставляет сбалансированный взгляд на различные аспекты деятельности организации.
3. Также ССП помогает обеспечить понимание стратегических целей на всех уровнях управления компании и выравнивает усилия всех сотрудников.

Методика поощрения и признания используется организациями для стимулирования и мотивации сотрудников путем предоставления вознаграждений за достижения и выдающиеся результаты [6].

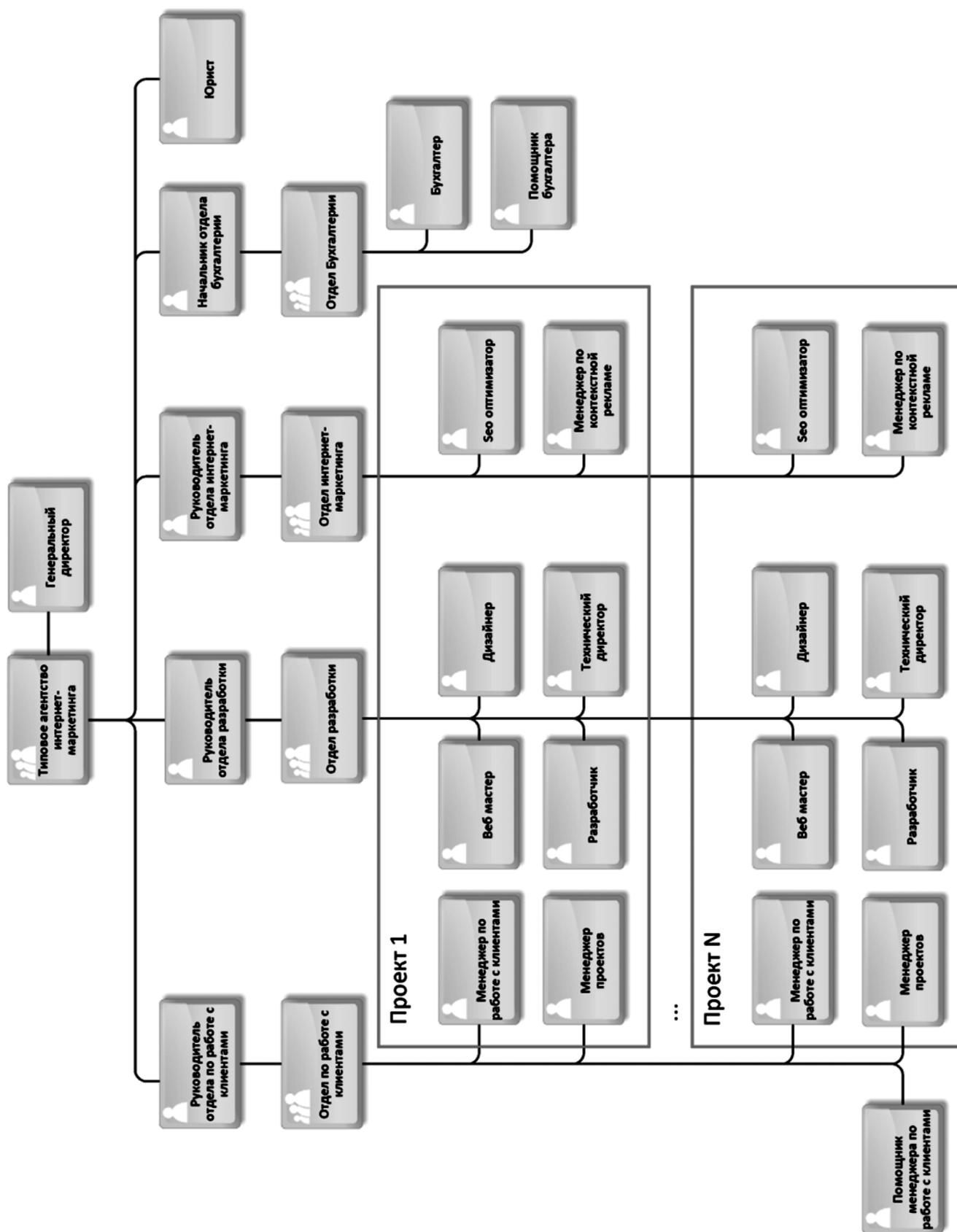


Рис. 1. Организационная структура типового агентства интернет-маркетинга



Рис. 2. Модель управления организационной системой поддержки принятия решений для задач омниканального продвижения

Преимущества и особенности:

- Методика способствуют повышению мотивации сотрудников и улучшению их производительности.
- Вознаграждения позволяют привлечь и удержать талантливых сотрудников.
- Подход также способствует развитию позитивной корпоративной культуры, где успешные достижения отмечаются, что помогает сотрудникам не чувствовать так называемого «выгорания».

В предыдущих исследованиях авторами также было отмечено, что для планирования, управления и контроля маркетинговых коммуникаций возможно применение механизмов стимулирования в матричных структурах, а также механизмы активной экспертизы. Данный механизм будет рассмотрен авторами на основании работы Новикова Д.А. «Теория управления организационными системами». Важно отметить, что данная статья является продолжением в исследовании по разработке моделей и методов управления организационными системами для поддержки принятия решений особенно в вопросах проектирования специализированных средств прикладной аналитики в области маркетинга [2].

В матричных системах дивизионы (отделы), осуществляющие управление сотрудниками, порой сталкиваются с тем, что независимо распределяемые задачи поступают на выполнение одновременно или в смежные промежутки времени их выполнения. Новиков Д.А. вы-

деляет режимы сотрудничества и конкуренции дивизионов на пути решения подобных конфликтов [2].

В режиме сотрудничества дивизионы действуют совместно, что позволяет добиваться требуемых результатов деятельности сотрудника с использованием минимального количества ресурсов управления. В режиме конкуренции, который возникает, если цели дивизионов различаются, несогласованность влечет за собой неэффективный расход соответствующих ресурсов.

Условие выгодного сотрудничества для каждого из центров связано с тем, что в режиме сотрудничества каждый дивизион должен получить полезность, не меньшую, чем он мог бы получить, осуществляя стимулирование сотрудника в одиночку. Иными словами, отдел интернет-маркетинга и отдел по работе с клиентами получают большую выгоду, взаимодействуя и мотивируя дизайнера согласовано, например, для решения задач отрисовки креативов в рамках маркетинговой кампании.

Авторами предлагается ознакомиться с условием выгодного сотрудничества дивизионов более подробно. Далее представлены составляющие функции данного условия:

$K = \{1, 2, \dots, k\}$  — множество дивизионов.

$i$  — определенный дивизион из множества  $K$ .

$H_i(x)$  — функция дохода, получаемая дивизионом от деятельности сотрудника.

$x \in A$  — функция, описывающая выбор действия сотрудником.

$c(x)$  — функция затрат, требуемая для действия сотрудника.

В Формуле 1 описан критерий, описывающий пользу выбранного отдела с сотрудником от самостоятельного взаимодействия с ним:

$$W_i = \max_{x \in A} [H_i(x) - c(x)], i \in K. \quad (1)$$

Полезность дивизионов в режиме сотрудничества при совместном взаимодействии с сотрудником описывается в Формуле 2.

$$W_0 = \max_{x \in A} \left[ \sum_{i \in K} H_i(x) - c(x) \right]. \quad (2)$$

Стоит отметить, что сотрудничество отделов возможно тогда и только тогда, когда возможно достижение договорённости между ними (3). Следовательно, условие реализуемости режима сотрудничества можно описать следующим образом:

$$W_0 \geq \sum_{i \in K} W_i. \quad (3)$$

Другими словами, действуя совместно, отделы могут получить большую суммарную полезность, чем действуя в одиночку, а разность  $W_0 - \sum_{i \in K} W_i$  может квалифицироваться как степень согласованности интересов дивизионов и характеристика, описывающая целостность управления агентства интернет-маркетинга в целом.

Рассмотрим следующий пример. Логикой сотрудника является выбор поручения (действия)  $x \in A$ , что требует затрат  $c(x) = 1200 + 400x$ , где 1200 является оплатой сотрудника за смену, а 400 является коэффициентам доплаты в зависимости от количества задач, делегируемых различными отделами  $x$ .

Каждый дивизион, будь то отдел интернет-маркетинга или отдел по работе с клиентами, получает от деятельности сотрудника доходные части, описываемые функциями  $H_{\text{отдел ИМ}}(y) = 2000 + 4000x$  и  $H_{\text{отдел РК}}(x) = 4000 + 8000x$  соответственно. В свою очередь функция доходной части отделов в режиме сотрудничества представляет собой следующее выражение:  $H_{\text{отделы РКиИМ}}(x) = 6000 + 12000x$ . В перечисленных функциях доходность рассчитывается с помощью двух составляющих: фиксированная часть, представляющая собой бюджет отдела, а также плавающая часть, получаемая дивизионом в результате выполнения определенного количества задач в области продвижения. Важно понимать, что значение функции затрат не может

превышать размер бюджетной части функции доходности.

Проверка условия реализуемости режима сотрудничества (4–7):

$$W_{\text{отдел ИМ}} = \max_{\substack{x \in A \\ c(x) \in [0;2000]}} [H_{\text{отдел ИМ}}(x) - c(x)] = \\ = \max_{\substack{x \in [0;2] \\ c(x) \in [0;2000]}} [2000 + 4000x - 1200 - 400x] = \quad (4)$$

$$= \max_{\substack{x \in [0;2] \\ c(x) \in [0;2000]}} [4000x] = 8000.$$

$$W_{\text{отдел РК}} = \max_{\substack{x \in A \\ c(x) \in [0;4000]}} [H_{\text{отдел РК}}(x) - c(x)] = \\ = \max_{\substack{x \in [0;7] \\ c(x) \in [0;4000]}} [4000 + 8000x - 1200 - 400x] = \quad (5)$$

$$= \max_{\substack{x \in [0;7] \\ c(x) \in [0;4000]}} [8000x] = 56000.$$

$$W_{\text{отдел ИМиРК}} = \\ = \max_{\substack{x \in A \\ c(x) \in [0;6000]}} [H_{\text{отдел ИМиРК}}(x) - c(x)] = \\ = \max_{\substack{x \in [0;12] \\ c(x) \in [0;6000]}} [6000 + 12000x - 1200 - 400x] = \quad (6)$$

$$= \max_{\substack{x \in [0;12] \\ c(x) \in [0;6000]}} [12000x] = 144000$$

$$W_{\text{отдел ИМиРК}} \geq W_{\text{отдел ИМ}} + W_{\text{отдел РК}}. \\ 144000 \geq 8000 + 56000. \quad (7)$$

Проверка показала, что при совместном взаимодействии, используя одинаковую бюджетную часть, возможно добиться большей вовлеченности сотрудника, увеличивая значения функции затрат путем максимизации количества задач, делегируемых ему (7).

### Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что в многоуровневых системах, таких как матричные организационные структуры, для обеспечения эффективного функционирования системы в целом каждый более высокий уровень иерархии должен осуществлять согласование своих интересов и интересов всех нижележащих сотрудников, в том числе — путем выбора соответствующей системы стимулирования.

Недостаточное разделение полномочий между менеджерами проектов и руководителями функциональных подразделений влечет за собой возможный конфликт между ними, когда и менеджеры проектов, и функциональные руководители отделов конкуриру-

ют за вовлеченность персонала в те или иные задачи. Очевидно, что ОС теряет в эффективности функционирования, так как любые неоптимизированные расходы ресурсов, направленные не на решение проблем взаимодействия, а на невыгодную для компании внутреннюю конкуренцию, влекут за собой финансовые и временные потери.

Сотрудничество центров промежуточного уровня — совместное назначение планов и использование

согласованной системы стимулирования сотрудников — позволяет избежать подобного конфликта и неэффективности в распределении трудовых нагрузок.

Полученные результаты позволяют авторам продолжить своё исследование и разработку инструментов стимулирования в матричных структурах компаний из области маркетинга в купе с другими инструментами прикладной аналитики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллина Ю.В., Мовсисян Л.К. Модернизация информационной системы поддержки управления проектами // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. — 2023. — Т. 8 № 5(31) ч.2. с. 61–67.
2. Мовсисян Л.К. Организационное обеспечение и результаты проектирования информационной системы поддержки деятельности агентства интернет-маркетинга ООО «СТК-ПРОМО»: дис. магистра: 09.04.03: защищена 07.06.2023 / Автор Мовсисян Леон Каренович. — М.: РТУ МИРЭА, 2023—243 с.
3. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 4-е изд., испр. и дополн. — М.: ЛЕНАНД, 2022. — 500 с.
4. SKILLBOX.RU: Цикл Деминга, или PDCA: улучшение процессов разработки и управление качеством продукта? [Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://skillbox.ru/media/management/tsikl\\_deminga/](https://skillbox.ru/media/management/tsikl_deminga/) — Загл. с экрана. — Яз. рус. Дата обращения (01.09.2024).
5. Business Studio.ru: BSC (Сбалансированная система показателей) и Business Studio [Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://www.businessstudio.ru/articles/-article/bsc\\_sbalansirovannaya\\_sistema\\_pokazateley\\_i\\_busine/](https://www.businessstudio.ru/articles/-article/bsc_sbalansirovannaya_sistema_pokazateley_i_busine/) — Загл. с экрана. — Яз. рус. Дата обращения (03.09.2024).
6. Darwin Box.com: Reward and Recognition [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://explore.Darwinbox.com/hr-glossary/rewards-and-recognition#:~:text=Rewards-%20and%20Recognition%20is%20a,%20fair%20and%20timely%20manner./> — Загл. с экрана. — Яз. англ. Дата обращения (03.09.2024).

© Мовсисян Леон Каренович (movsisyanyan-leon@mail.ru); Смоленцева Татьяна Евгеньевна (smoltan@bk.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПЕРЕДОВЫЕ МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТАДИЙ БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА

## ADVANCED MACHINE LEARNING TECHNIQUES FOR ENHANCED PREDICTION OF ALZHEIMER'S DISEASE STAGES

**Mohamed Douache  
M. Ronkin**

*Summary.* This paper explores the use of deep learning and machine learning models to predict Alzheimer's disease stages, aiming to improve accuracy and diagnostic quality. We compared three CNN models, K-Nearest Neighbors (KNN), Temporal Convolutional Networks (TCN), and XGBoost for classifying brain scan images of different Alzheimer's stages. CNN models were optimized for spatial feature extraction, KNN was used for instance classification, TCN captured temporal patterns, and XGBoost enhanced prediction performance through ensemble methods. Our goal was to identify the most accurate and computationally efficient model for clinical applications. Experimental results highlight the strengths and weaknesses of each approach, helping to determine the best algorithms for reliable Alzheimer's detection.

*Keywords:* Alzheimer's disease, CNN, K-Nearest Neighbors (KNN), Temporal Convolutional Networks (TCN), XGBoost, machine learning, deep learning, brain scan classification, medical image analysis, prediction accuracy, ensemble learning, diagnostic tools.

**Мохамед Дуаш**

Аспирант, Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина  
douache.mohamed@gmail.com

**Ронкин Михаил**

Доцент, Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина  
m.v.ronkin@urfu.ru

*Аннотация.* В статье рассматривается применение моделей глубокого и машинного обучения для прогнозирования стадий болезни Альцгеймера с целью повышения точности и качества диагностики. Сравнены три модели CNN, K-ближайшие соседи, временные сверточные сети (TCN) и XGBoost для классификации стадий изображений мозга. CNN модели оптимизированы для извлечения пространственных особенностей, KNN используется для классификации, TCN — для анализа временных закономерностей, а XGBoost улучшает предсказания с помощью ансамблевого метода. Целью было найти наиболее точную и вычислительно эффективную модель. Результаты экспериментов показывают сильные и слабые стороны каждого подхода для выбора лучших алгоритмов для клинической практики.

*Ключевые слова:* болезнь Альцгеймера, CNN, метод K-ближайших соседей (KNN), временные сверточные сети (TCN), XGBoost, машинное обучение, глубокое обучение, классификация при сканировании мозга, анализ медицинских изображений, точность прогнозирования, ансамблевое обучение, диагностические инструменты.

### Введение

Прогресс в области искусственного интеллекта и машинного обучения открывает новые возможности для диагностики сложных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера. Современные подходы к анализу медицинских изображений включают использование мощных алгоритмов глубокого обучения и методов классификации, способных значительно повысить точность и надежность диагностики. В данной статье исследуются и сравниваются несколько методов классификации стадий болезни Альцгеймера, включая сверточные нейронные сети (CNN), метод K-ближайших соседей (KNN), временные сверточные сети (TCN) и XGBoost. Основное внимание уделяется разработке и оптимизации моделей для извлечения пространственно-временных особенностей данных, а также выявлению наиболее эффективного подхода для применения в клинической практике.

### Цель исследования

Основной целью исследования было повышение точности машинного обучения для стадирования болезни Альцгеймера. Работа фокусируется на сравнении алгоритмов для выявления наиболее эффективного подхода к классификации стадий заболевания — от нормальной когнитивной функции до поздних стадий.

Особое внимание уделено сверточным нейронным сетям (CNN) и их сравнению с другими методами, с акцентом на настройку гиперпараметров и архитектурные корректировки для обеспечения точных прогнозов с минимальными ошибками [1].

Исследование также направлено на баланс между точностью и вычислительной эффективностью, чтобы разработать модели, применимые в клинической практике. Дополнительно оно изучает влияние предварительной обработки данных и демографических разли-

чий пациентов на эффективность моделей, гарантируя надежность прогнозов для различных наборов данных. Цель — создать универсальный инструмент для ранней диагностики и мониторинга болезни Альцгеймера.

**Обзор литературных источников**

Болезнь Альцгеймера исследуется с использованием алгоритмов машинного и глубокого обучения. Различные подходы [2] применяются для анализа изображений мозга, направленных на улучшение диагностики. Так, Сарачага и др. [3] с помощью методов глубокого обучения достигли 88 % точности на наборе данных OASIS. Судхарсан и Тайламбал [4] продемонстрировали 75 % точности, анализируя ADNI с использованием методов MO. Хелали и др. [5] достигли 93 % точности для многоклассовой классификации стадий AD, используя сверточные сети. Шакила Башир и др. [6] показали 92 % на OASIS с помощью глубоких сетей. Мартинес-Мурсия и др. [7] применили сверточные автокодировщики, обеспечив 80 % точности для данных ADNI. Праджапати и др. [8] использовали бинарную классификацию на глубоких сетях и достигли 85 % точности. Эти исследования подчеркивают эффективность современных методов анализа изображений в диагностике заболеваний мозга.

На Рис 1. представлены исследования и их средняя точность классификации на основе анализа наборов данных OASIS и ADNI. Видно, что самые высокие резуль-

таты достигают исследования Хелали и др. (93%) и Шакила Башир и др. (92%), использующие глубокие нейронные сети и сверточные сети для много классовых стадий болезни Альцгеймера.

**Методология**

*Методы сбора данных*

В этой работе мы используем набор данных изображений сканирования мозга, собранных из различных источников, для анализа болезни Альцгеймера. Набор данных, используемый в этой работе, организован в pandas DataFrame из 843 записей, каждая запись представляет собой одно независимое изображение сканирования мозга и соответствующую ему метку. Метки указывают на различные стадии болезни Альцгеймера: «AD» — болезнь Альцгеймера, «CN» — когнитивно нормальная, «LMCI» — позднее легкое когнитивное нарушение и «EMCI» — раннее легкое когнитивное нарушение. Распределение изображений по этим категориям демонстрирует значительный дисбаланс: в общей сложности 573 изображения обозначены как «AD», а по 90 изображений — как «CN», «LMCI» и «EMCI». Это расхождение в количестве изображений в каждой категории отражает фактическую распространенность стадий болезни Альцгеймера, где «AD» встречается значительно чаще. Эти изображения находятся в структурированном формате, включая пути к файлам для расположения каждого

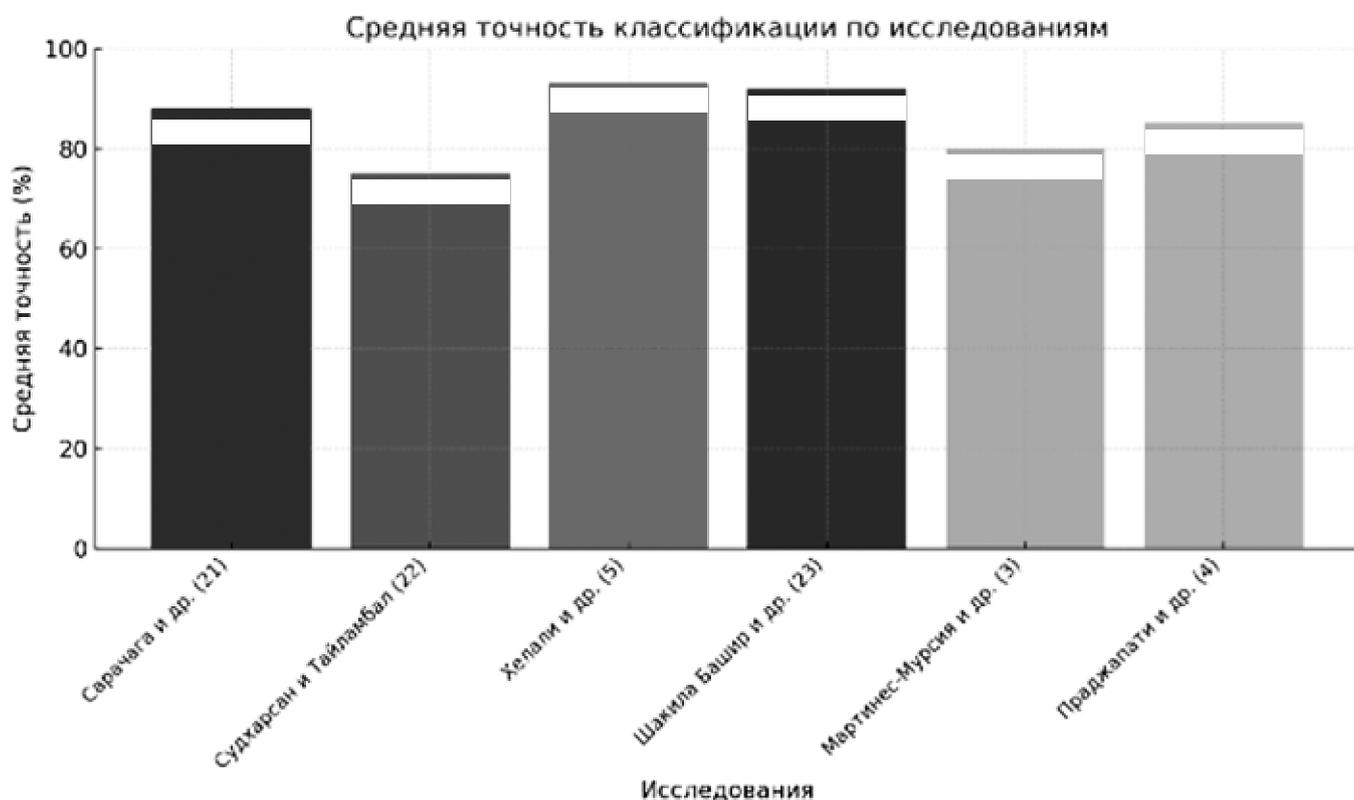


Рис. 1. Средняя точность классификации моделей МО и ДО для диагностики болезни Альцгеймера

из них на облачном диске. Этот набор данных незаменим при построении и оценке различных моделей машинного обучения, ориентированных на классификацию и прогнозирование прогрессирования болезни Альцгеймера. Исчерпывающий процесс сбора гарантирует, что набор данных точно представляет многие стадии заболевания; однако его несбалансированное распределение классов требует вмешательства на этапе обучения модели с помощью подходящих методов обработки данных, таких как повторная выборка или взвешивание классов.

*Методы анализа данных*

Наш анализ данных использует как качественные, так и количественные методы для извлечения действенных идей из набора данных. Качественный анализ фокусируется на выявлении тенденций и повторяющихся закономерностей в циклах спроса, предпочтениях потребителей и скачках продаж в секторе видеоигр. Количественный анализ, включая прогнозирование временных рядов и методы машинного обучения, применяется к данным о продажах для прогнозирования будущего

спроса, оптимизации уровней запасов и минимизации ситуаций дефицита и избытка запасов. Объединяя эти аналитические подходы, мы стремимся создать предиктивную модель ИИ, адаптированную к уникальным характеристикам спроса и продаж видеоигр, предлагая практические стратегии для оптимизации запасов в этой отрасли.

В данной таблице представлено четкое и краткое описание набора данных, включая его структуру, содержание и проблемы, связанные с его использованием.

*Описание алгоритма*

Алгоритм описывает разработку модели сверточной нейронной сети (CNN) для многоклассовой классификации медицинских изображений, таких как МРТ головного мозга, для диагностики болезни Альцгеймера. Предварительная обработка данных включает разделение на обучающие, проверочные и тестовые наборы для сбалансированного представления классов. Архитектура CNN включает сверточные слои для захвата иерархических признаков, слои максимального объединения для уменьшения размерности и полносвязный слой для классификации с использованием softmax. Модель использует категориальную перекрестную энтропию и оптимизируется с помощью Adam. Она эффективно выявляет тонкие признаки, отличающие стадии болезни Альцгеймера, и показывает хорошие результаты на данных проверки и тестирования [9–14].

Таблица 1.

Резюме набора данных

Аспект	Описание
Общее количество изображений	843
Столбцы данных	изображение (путь к файлу изображения) и метка (стадия заболевания)
Формат пути к файлу изображения	Хранится в виде строковых объектов, представляющих пути к файлам изображений на облачном диске.
Этикетки	AD (болезнь Альцгеймера), CN (когнитивно нормальный), LMCI (позднее легкое когнитивное нарушение), EMCI (раннее легкое когнитивное нарушение)
Количество изображений в категории	— AD: 573 — CN: 90 — LMCI: 90 — EMCI: 90
Распределение данных	Несбалансированно, с большим количеством изображений в категории «AD» по сравнению с другими стадиями
Цель	Разработать и оценить модели машинного обучения для классификации и прогнозирования стадий болезни Альцгеймера.
Вызовы	Несбалансированный набор данных, который может повлиять на производительность модели; требует обработки с помощью таких методов, как повторная выборка или взвешивание классов

**Шаг 1: Предобработка данных**

1. Разделение данных:
  - Разделить набор данных на обучающий, проверочный и тестовый, обеспечив правильную стратификацию для поддержания баланса классов.
2. Отображение форм наборов данных:
  - Проверить и подтвердить формы обучающего, проверочного и тестового наборов.

**Шаг 2: Инициализация модели**

1. Определение архитектуры CNN:
  - Добавить несколько сверточных слоев с активацией ReLU для извлечения признаков, затем слои максимального пула для уменьшения размерности.
  - Преобразовать выход в одномерный вектор и добавить полностью связанный слой с 1024 единицами и активацией ReLU.
  - Включить слой исключения для предотвращения переобучения, а затем слой softmax для многоклассовой классификации с 4 выходами (стадии болезни Альцгеймера).
2. Вывод сводки модели:
  - Отобразить информацию о модели, включая типы слоев, выходные формы и количество параметров.

1288 Image sets match your criteria. Research Group + AD Size + Study Modality + MRI Image count + AD

Your access level: Access to data is restricted by each project's leader. Click the Projects link above for additional information.

20 of 210 < prev 1 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 next >

Subject ID	Image ID	Description	Image Type
SM01	Control	M 10110000 11 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM02	Control	M 10110000 16 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM03	Control	M 10110000 24 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM04	Control	M 10110000 26 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM05	Control	M 10110000 18 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM06	Control	M 10110000 14 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM07	Control	M 10110000 16 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM08	Control	M 10110000 28 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM09	Control	M 10110000 28 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM10	Control	M 10110000 18 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM11	Control	M 10110000 24 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM12	Control	M 10110000 26 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM13	Control	M 10110000 20 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM14	Control	M 10110000 22 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM15	Control	M 10110000 22 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM16	Control	M 10110000 22 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM17	AD	M 10110000 23 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM18	AD	M 10110000 25 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM19	AD	M 10110000 25 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110
SM20	AD	M 10110000 25 MRI MP-RAGE T1 1.0 Sagittal S110	S110

\*Clicking the view icon launches the LDM Image Viewer. This viewer requires a Java-enabled browser with Java 7 (or 6, 5.0) or newer installed.

(A)



(B)

Рис. 2. Веб-сайт набора данных

Источник: А. Таблица изображений IDA, В. Просмотрщики и загрузки изображений IDA

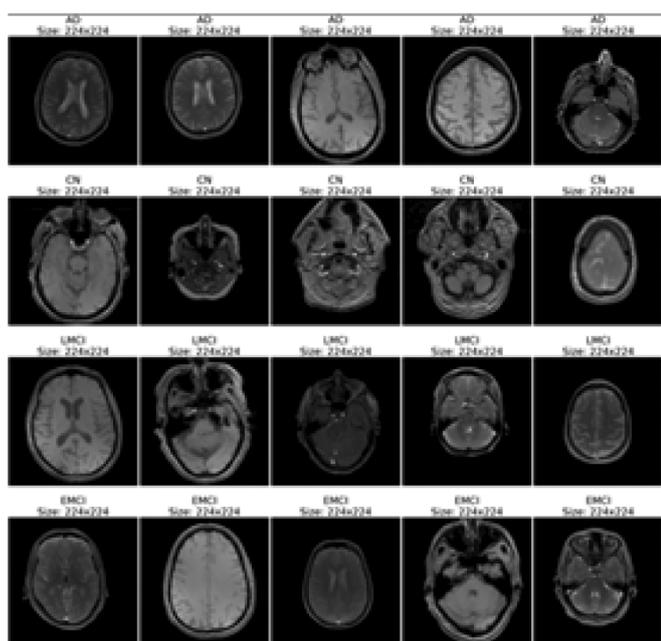


Рис. 3. Визуализация выборки данных

**Шаг 3: Обучение модели**

1. Компиляция и обучение модели:
  - Использовать категориальную кросс-энтропию как функцию потерь и оптимизатор Adam с коэффициентом обучения 0,001.
  - Обучить модель с размером партии 32 на определенное количество эпох с использованием обучающих и проверочных данных.

**Шаг 4: Оценка модели**

1. Оценка производительности модели:
  - Оценить производительность модели на тестовом наборе с использованием таких метрик, как точность, точность, отзыв и F1-оценка.

**Шаг 5: Оптимизация и улучшения**

1. Применение пакетной нормализации и ранней остановки:

- Добавить слой пакетной нормализации после каждого сверточного слоя для ускорения сходимости и стабильности обучения.
- Реализовать раннюю остановку для предотвращения переобучения, отслеживая потери на валидации и останавливая обучение, если они не улучшаются.

Набор данных состоит из 843 образцов, где каждый образец соответствует изображению сканирования мозга, помеченному в соответствии со стадией болезни Альцгеймера. Два столбца в наборе данных:

- **изображение:** В этом столбце содержатся пути к файлам изображений сканирования мозга.
- **этикетка:** В этом столбце указана соответствующая метка для каждого изображения, указывающая стадию болезни Альцгеймера (например, AD для болезни Альцгеймера).

Обе колонки имеют объект тип данных, то есть они содержат строки. В наборе данных нет пропущенных значений, а общий объем памяти, используемый для

Таблица 2.

Руководитель DataFrame

Индекс	Путь к изображению	Этикетка
0	/content/drive/MyDrive/alzheimer_dataset/data_AD/...	ОБЪЯВЛЕНИЕ
1	/content/drive/MyDrive/alzheimer_dataset/data_AD/...	ОБЪЯВЛЕНИЕ
2	/content/drive/MyDrive/alzheimer_dataset/data_AD/...	ОБЪЯВЛЕНИЕ
3	/content/drive/MyDrive/alzheimer_dataset/data_AD/...	ОБЪЯВЛЕНИЕ
4	/content/drive/MyDrive/alzheimer_dataset/data_AD/...	ОБЪЯВЛЕНИЕ

хранения этой информации, составляет приблизительно 13,3 КБ.

**Результаты и обсуждения**

Мы оценили такие показатели производительности, как точность, прецизионность, отзывчивость и показатель F1, используя 5-кратный подход перекрестной проверки с использованием таких моделей, как Деревья решений, CNN, случайные леса, KNN и TCN. Оценки эффективности, как бинарные, так и многоклассовые, были детализированы с использованием матриц путаницы для устранения переобучения и настройки параметров. Для точного прогнозирования и дифференциации лю-

Таблица 3.

Точность и значения оценки F1 Модель CNN

Эпохи	Точность	Потеря	Val_accuracy	Val_loss
0	0,296758	1.373442	0,508721	1.312698
1	0,503117	1.140661	0,619186	0,945076
2	0,659601	0,846996	0,732558	0,770621
3	0,770574	0,625195	0,808140	0,596971
4	0,899002	0,343187	0,819767	0,569558
5	0,908354	0,268179	0,941860	0,265598
6	0,951995	0,142669	0,904070	0,255353
7	0,979426	0,081131	0,953488	0,146223
8	0,991895	0,033950	0,953488	0,163020
..	.....	.....	.....	.....
19	1.000000	0,000677	0,970930	0,138240

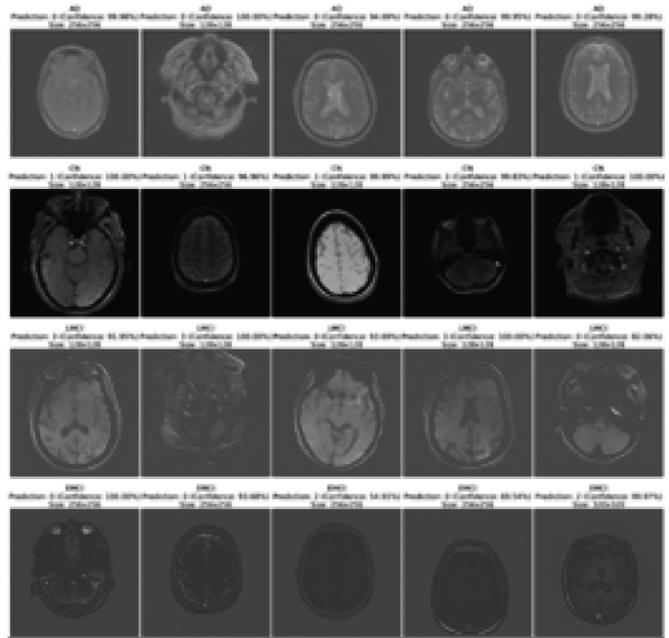


Рис. 5. Прогнозирование болезни Альцгеймера с использованием стандартной модели CNN

дей с болезнью Альцгеймера был разработан классификатор машинного обучения. Напомним, что чувствительность измерялась, а точность определяла количество людей, правильно идентифицированных как не страдающие болезнью. Показатель F1 позволил получить сбалансированную оценку точности и запоминаемости.

Наша модель CNN достигла впечатляющей точности в 99 % при классификации изображений, продемонстрировав свою способность эффективно изучать сложные закономерности и особенности на основе данных. Эта исключительная производительность подчеркивает надежность модели и ее пригодность для задач, связанных с обработкой изображений, требующих точности

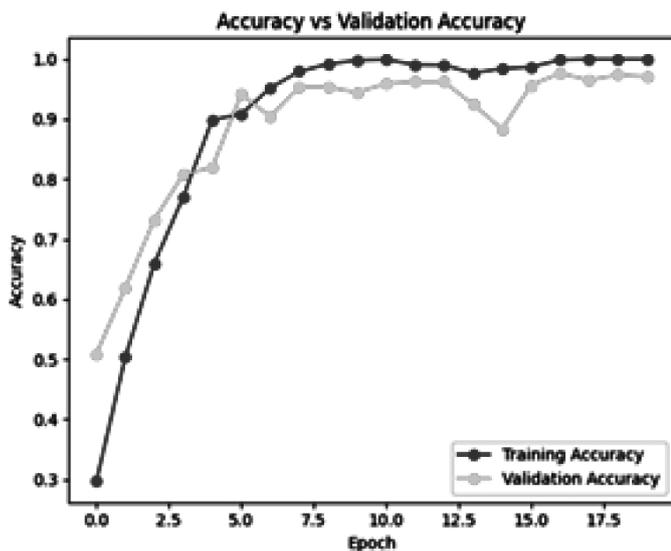
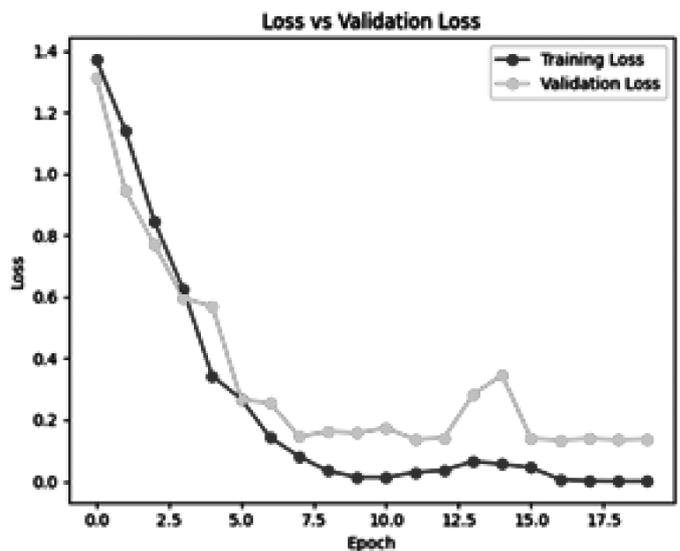


Рис. 4. Точность и значения оценки F1 Модель CNN



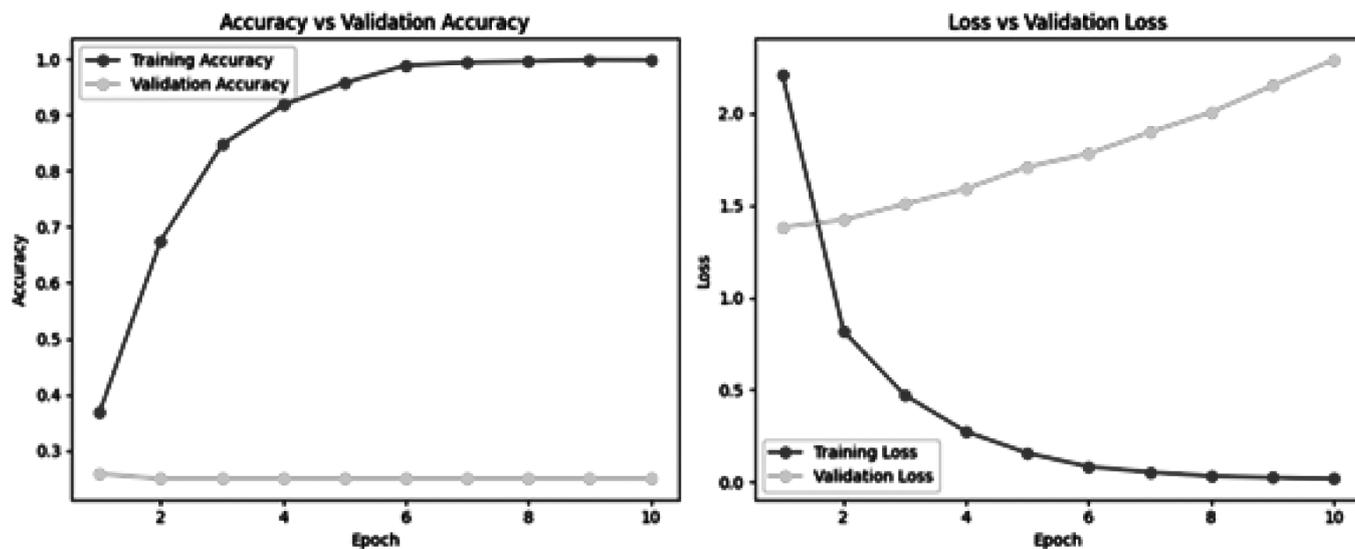


Рис. 6. Точность и оценка F1 оптимизированы для CNN с уменьшенными параметрами

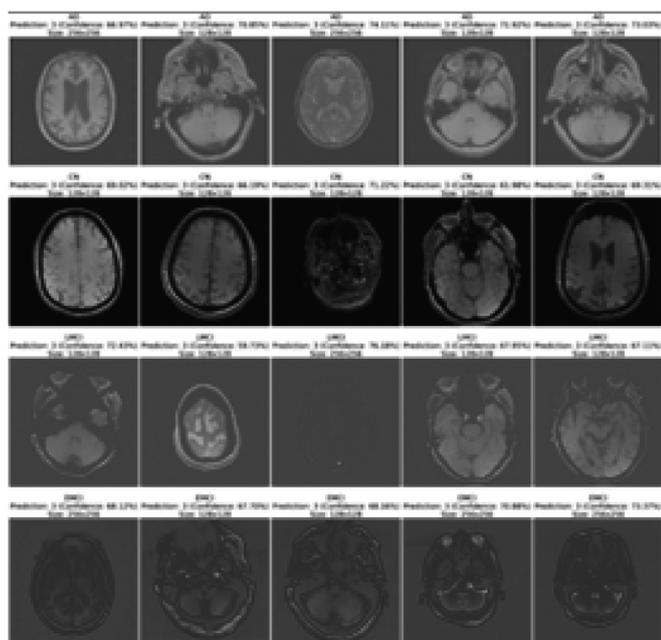


Рис. 7. Прогнозирование болезни Альцгеймера с использованием стандартной модели CNN. Оптимизированная CNN с сокращенными параметрами и эффективности. Результаты классификации, включая стадию заболевания, дают клиницистам ценную информацию, позволяющую лучше понимать прогрессирующие болезни Альцгеймера и управлять им.

График показывает точность и потери модели CNN, обученной на данных о болезни Альцгеймера. Модель демонстрирует низкую точность проверки (~0,25) при высокой точности обучения (~0,95), а также рост потерь проверки при снижении потерь обучения, что указывает на переобучение. Вероятной причиной является сокращение параметров в оптимизированной модели, что

могло снизить её способность учитывать сложные закономерности данных. Кроме того, классификация болезни Альцгеймера по медицинским изображениям сложна из-за минимальных изменений в структурах мозга, что требует более мощных моделей или улучшенной предварительной обработки данных.

Точность обучения быстро выросла в первые три эпохи, достигнув 0,67, и стабилизировалась на уровне 0,99 к десятой эпохе. Точность проверки осталась низкой (~0,25) на протяжении всего обучения, указывая на явное переобучение. Потери обучения снизились до 0,81 во второй эпохе и стабилизировались на уровне 0,05, тогда как потери проверки увеличились до 2,28 к десятой эпохе.

Модель слишком хорошо адаптируется к обучающим данным, но не обобщает на новые данные, вероятно, из-за сложности модели или недостаточного объема данных. Слой глобального усреднения (GAP), заменяющий полностью связанные слои, оказался малоэффективным, что требует анализа причин переобучения. Для улучшения производительности рекомендуется увеличить размер данных, использовать регуляризацию и уменьшить сложность модели. Результаты подчеркивают важность анализа кривых обучения для предотвращения переобучения и оптимизации модели.

### Заключение

При оценке различных моделей для прогнозирования стадии болезни Альцгеймера модель CNN достигла наивысшей точности в 98 %, за ней следует CNN с меньшим количеством слоев и планировщиком скорости обучения, которая достигла 97 %. Это демонстрирует способность архитектуры CNN захватывать сложные шаблоны, даже если она оптимизирована для простоты.

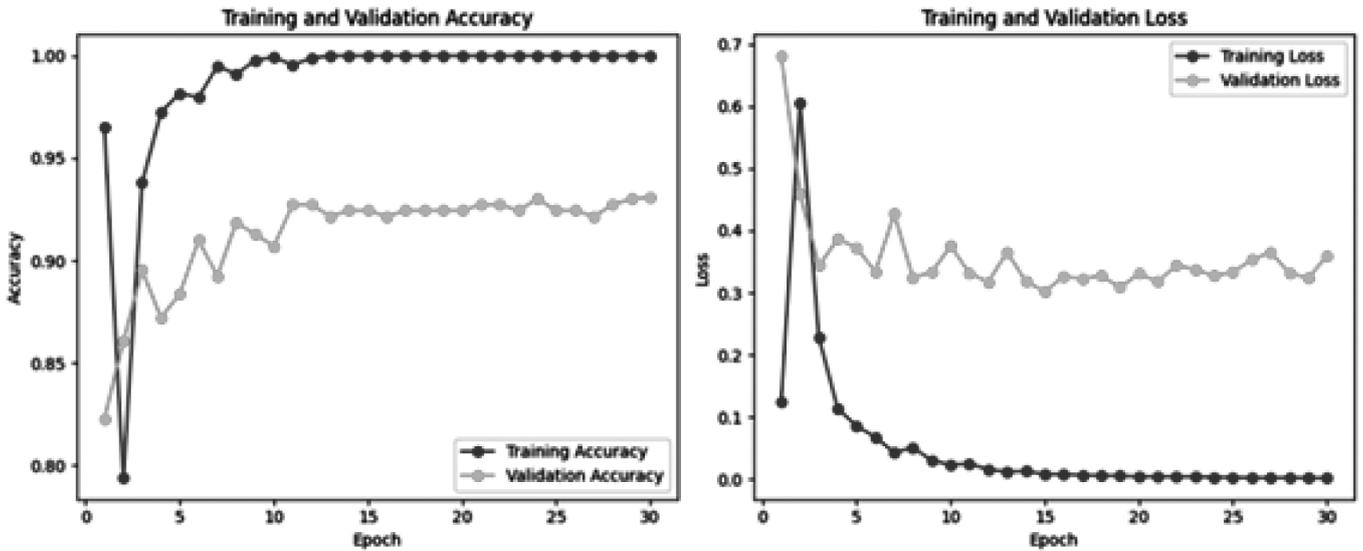


Рис. 8. Точность и оценка F1 CNN с глобальным средним объединением

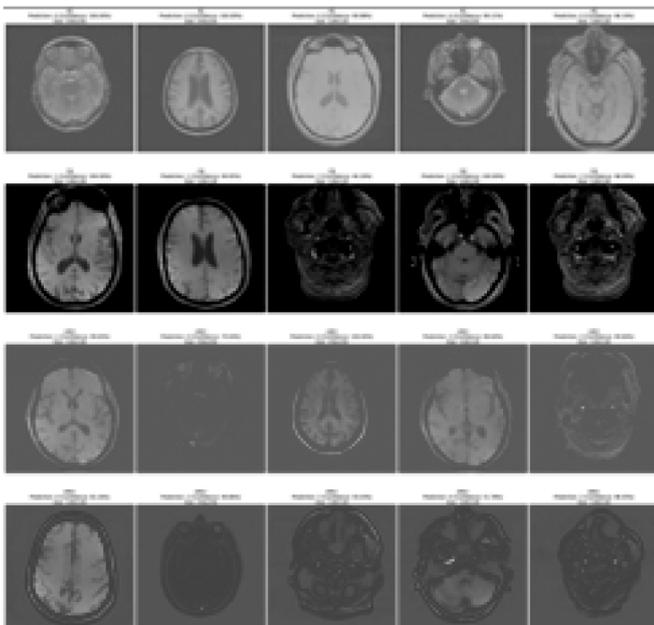


Рис. 9. Прогнозирование болезни Альцгеймера с использованием CNN с глобальным усреднением пула

Оптимизированная CNN, которая включала дополнительную настройку для улучшения производительности, достигла 91 %, показав хороший баланс между вычислительной эффективностью и точностью. Однако CNN с глобальным усреднением пула (GAP) показала немного более низкие результаты в 86 %, что указывает на то, что при снижении переобучения она также могла поставить под угрозу некоторый уровень точности модели. Нако-

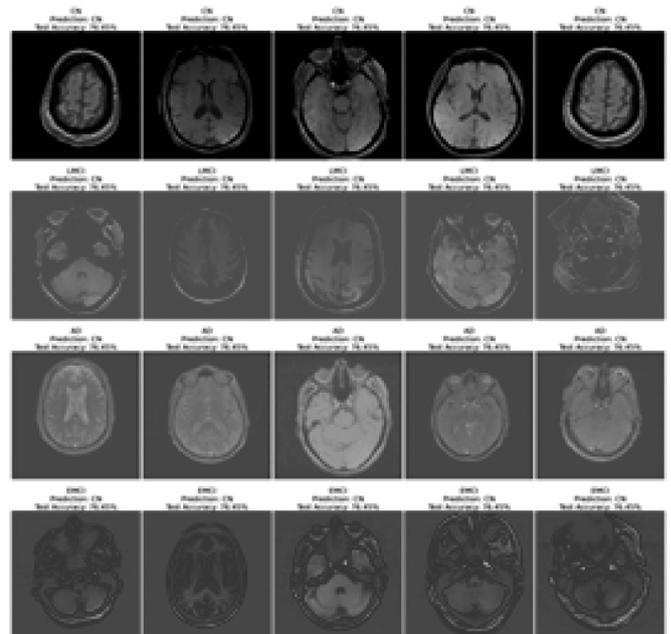


Рис. 10. Прогнозирование болезни Альцгеймера с использованием KNN

нец, модель K-ближайших соседей (KNN) показала сравнительно более низкую точность в 76 %, что отражает ее ограничения в обработке сложных данных на основе изображений по сравнению со сверточными моделями. Это общее сравнение подчеркивает силу методов глубокого обучения, в частности CNN, в задачах классификации изображений высокой размерности, таких как прогнозирование стадии болезни Альцгеймера.

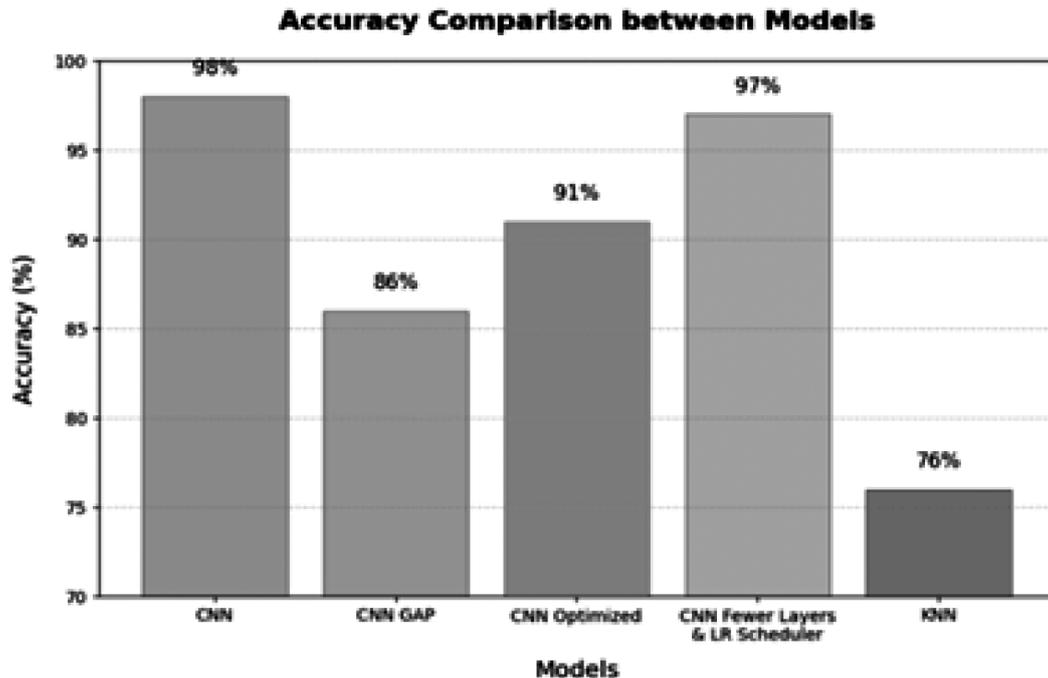


Рис. 11. График сравнения моделей

## ЛИТЕРАТУРА

- Сивакани Г.А., Ансари Р. Структура машинного обучения для внедрения болезни Альцгеймера. *Int Conferen Commun Signal Process.* (2020) 12:588–92. 10.1109/ICCSP48568.2020.9182220 [CrossRef] [Google Академия]
- Хан П., Кадер М.Ф., Ислам С.Р., Рахман А.Б., Камал М.С., Тоха М.У. и др. Подходы к машинному обучению и глубокому обучению для диагностики заболеваний мозга: принципы и последние достижения. *IEEE Access.* (2021) 9:37622–55. 10.1109/ACCESS.2021.3062484 [CrossRef] [Google Академия]
- Мартинес-Мурсия Ф.Дж., Ортис А., Горрис Дж.М., Рамирес Дж., Кастильо-Барнс Д. Изучение многообразной структуры болезни Альцгеймера: подход глубокого обучения с использованием сверточных автоэнкодеров. *IEEE J Biomed Health Inform.* (2020) 24:17–26. 10.1109/JBHI.2019.2914970 [PubMed] [CrossRef] [Google Академия]
- Праджapati Р., Кхатри У., Квон ГР. «Эффективный двоичный классификатор на основе глубокой нейронной сети для классификации болезни Альцгеймера», В: Международная конференция по искусственному интеллекту в информации и коммуникации (ICAIIIC). (2021), стр. 231–234. [Google Академия]
- Хелали Н.А., Бадави М., Хайкал А.У. Метод глубокого обучения для раннего выявления болезни Альцгеймера. *Cogn Computing.* (2021) 21:1–17. 10.1007/s12559-021-09946-2 [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [CrossRef] [Google Академия]
- Яффе К. Модифицируемые факторы риска и профилактика деменции: каковы последние данные. *JAMA Intern Med.* (2018) 178:281–2. 10.1001/jamainternmed.2017.7299 [PubMed] [CrossRef] [Google Академия]
- Ливингстон Г., Соммерлад А., Оргета В., Костафреда С.Г., Хантли Д. и др. Профилактика, вмешательство и уход за больными деменцией. *The Lancet.* (2017) 390:2673–73. 10.1016/S0140-6736<17>31363-6 [PubMed] [CrossRef] [Google Академия]
- O'Donnell C.A., Manera V., Köhler S., Irving K. Продвижение изменяемых факторов риска деменции: есть ли роль для общей практики? *British J General Pract.* (2015) 65:567–8. 10.3399/bjgp15X687241 [Бесплатная статья PMC] [PubMed] [CrossRef] [Google Академия]
- Сулейман Н., Абдулсахиб Г., Халаф О., Мохаммед М.Н. «Эффект использования различных распространений протоколов маршрутизации OLSR и DSDV», в трудах Международной конференции IEEE по структурированию и моделированию интеллектуальных систем. (2014), стр. 540–5. [Google Академия]
- Deckers K., van Boxtel M.P., Schiepers O.J., de Vugt M., Muñoz Sánchez J.L., Anstey K.J. и др. Целевые факторы риска для профилактики деменции: систематический обзор и консенсусное исследование Delphi на основе доказательств из наблюдательных исследований. *Int J Geriatric Psychiatry.* (2015) 30:234–46. 10.1002/gps.4245 [PubMed] [CrossRef] [Google Академия]
- Schiepers O.J., Köhler S., Deckers K., Irving K., O'donnell C.A., Van den Akker и др. Образ жизни для здоровья мозга (LIBRA): новая модель профилактики деменции. *Int J Geriatric Psychiatry.* (2018) 33:167–75. 10.1002/gps.4700 [PubMed] [CrossRef] [Google Академия]
- Vos S.J., Van Boxtel M.P., Schiepers O.J., Deckers K., De Vugt M., Carrière I., et al. Модифицируемые факторы риска для профилактики деменции в среднем возрасте, пожилom возрасте и у самых пожилых: валидация индекса LIBRA. *J Alzheimer's Dis.* (2017) 58:537–47. 10.3233/JAD-161208 [PubMed] [CrossRef] [Google Академия]
- Осам Халаф И., Гайда М., Абдулсахиб Д. Энергоэффективная маршрутизация и надежный протокол передачи данных в WSN. *Int J Adv Soft Comput Applicat.* (2020) 12:45–53. [Google Академия]
- Национальные академии наук Инженерия и медицина. Профилактика когнитивного снижения и слабоумия: путь вперед. Лондон: The National Academies Press; (2018). [PubMed] [Google Академия]

© Мохамед Дуаш (douache.mohamed@gmail.com); Ронкин Михаил (m.v.ronkin@urfu.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ ЦИФРОВОГО СЛЕДА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ВКОНТАКТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ VK API

## ANALYSIS OF THE DIGITAL FOOTPRINT OF VKONTAKTE USERS USING THE VK API

**I. Murashkin  
M. Aliev**

*Summary.* The study focuses on investigating the digital footprints of VKontakte users by leveraging VK API tools. The research aims to develop a systematic approach to data analysis for identifying user preferences and audience segmentation. Key stages of working with open data, such as data collection, preprocessing, and analysis, are explored in detail. The integration of clustering techniques, thematic analysis, and natural language processing (NLP) significantly reduced manual intervention and streamlined the research process. Findings highlight the practical potential of digital footprint analysis in constructing detailed user profiles applicable in marketing, HR analytics, and social research. The study emphasizes the critical importance of adhering to ethical and legal standards during data analysis.

*Keywords:* digital footprint, VK API, data processing, clustering, personalization, social platforms.

**Мурашкин Илья Николаевич**

инженер по обеспечению качества (QA)  
полного стека (VK), магистрант, Адыгейского  
государственного университета (АГУ), Майкоп  
iluxa9494@gmail.com

**Алиев Марат Вячеславович**

кандидат физико-математических наук, Адыгейский  
государственный университет (АГУ), Майкоп  
alievmarat@mail.ru

*Аннотация.* Данная статья посвящена исследованию особенностей цифрового следа пользователей социальной сети ВКонтакте с использованием функционала VK API. Цель работы заключается в создании методологического подхода к анализу данных, направленного на выявление предпочтений пользователей и сегментацию аудитории. В материале рассматриваются ключевые этапы работы с открытыми данными, включая их сбор, обработку и дальнейший анализ. Применение методов кластеризации, тематического анализа и алгоритмов обработки естественного языка (NLP) позволило минимизировать участие человека и значительно повысить эффективность исследования. Результаты демонстрируют возможность использования цифрового следа для формирования точных пользовательских профилей, что находит применение в маркетинговых стратегиях, HR-аналитике и социальных исследованиях. В работе также акцентируется внимание на важности соблюдения законодательных и этических норм при анализе данных.

*Ключевые слова:* цифровой след, VK API, обработка данных, кластеризация, персонализация, социальные платформы.

### Введение

Социальные сети, включая ВКонтакте, стали значимым источником данных о предпочтениях и активности пользователей. Инструменты VK API позволяют собирать информацию о профилях, подписках и активности, но работа с данными ограничена требованиями конфиденциальности, лимитами API и качеством информации. Это требует разработки эффективных методов анализа данных. Цифровой след пользователей выступает важным инструментом для сегментации аудитории и прогнозирования её поведения. Методы кластеризации (например, K-Means) и обработка естественного языка (NLP) в сочетании с API позволяют глубже анализировать текстовые данные и выявлять предпочтения. Цель исследования — изучение цифрового следа пользователей ВКонтакте и определение их предпочтений на основе анализа данных, извлечённых через VK API. Примеры применения анализа данных включают повышение эффективности рекламных кампаний через персонализацию, адаптацию образовательных программ

и определение актуальных тем для культурных мероприятий. Для достижения цели изучены возможности VK API, разработаны методы анализа данных, автоматизированы процессы сбора информации с учётом этических стандартов. Научная новизна работы заключается в предложении подхода, который интегрирует методы обработки естественного языка, кластеризацию и API для автоматизации анализа данных социальных сетей. Практическая значимость исследования связана с повышением эффективности маркетинговых кампаний, выявлением интересов аудитории для HR-аналитики и определением трендов в социальной аналитике. Работа охватывает теоретические основы VK API, используемую методологию, результаты, практическую значимость и перспективы дальнейших исследований.

### Обзор теоретических основ и возможностей VK API

Цифровой след — это данные, оставленные пользователями в интернете, включая профили, подписки,

лайки и комментарии. Анализ этих данных позволяет сегментировать аудиторию, прогнозировать поведение и разрабатывать персонализированные стратегии. Исследования подтверждают значимость цифрового следа как инструмента изучения предпочтений и социально-го взаимодействия. Персонализация контента является одной из ключевых областей применения цифрового следа. Chen и Xu (2023) предложили методы извлечения пользовательских интересов на основе машинного обучения и тематического анализа, демонстрирующие высокую точность сегментации. Garcia и Schweitzer (2022) показали, что социальные взаимодействия и цифровой след могут предсказывать вовлечённость аудитории. Brown и Green (2023) подчеркнули важность соблюдения принципов конфиденциальности при использовании обезличенных данных, что актуально для работы с платформами, такими как VK API. Williams и Brown (2021) разработали техники автоматизированного анализа больших данных, минимизирующие участие человека. Garcia и Schweitzer (2022) также предложили методы анализа социальных графов, позволяющие выявлять ключевые фигуры и строить сетевые модели, что полезно в маркетинге и HR-аналитике. ВКонтакте предоставляет доступ к данным через VK API, который позволяет исследователям строить поведенческие профили. Методы API, такие как users.get и wall.get, дают доступ к информации о пользователях, публикациях и комментариях. Эти данные используются для анализа предпочтений и выделения ключевых тем. Несмотря на ограничения, включая доступ только к публичным данным, лимиты запросов и необходимость адаптации методов к изменениям API, VK API остаётся мощным инструментом для исследования цифрового следа. Комбинация методов анализа, таких как кластеризация и NLP, позволяет создавать точные профили пользователей. Применение зарубежных подходов, интегрированных с VK API, открывает новые возможности для изучения поведения аудитории. Таким образом, анализ цифрового следа через VK API остаётся перспективным направлением, обеспечивая высокую точность данных при соблюдении этических и технических стандартов.

### Методология исследования

Для достижения целей исследования применялся структурированный подход, включающий этапы сбора, предобработки, анализа и интерпретации данных. VK API использовался для получения открытой информации о пользователях, включая профили, подписки и публикации. Реализация на языке программирования Java обеспечивала высокую производительность и автоматизацию. Критерии выборки включали возраст пользователей до 25 лет, интересы в технической, гуманитарной и экономической сферах, а также активность в сети. Пример запроса к API для извлечения данных:

```
String url = «https://api.vk.com/method/users.get» +
«?user_ids=12345» +
«&fields=sex,bdate,city,interests» +
«&access_token=YOUR_ACCESS_TOKEN» +
«&v=5.131»;
HttpClient client = HttpClient.newHttpClient();
HttpRequest request = HttpRequest.newBuilder()
.uri(URI.create(url))
.build();
HttpResponse<String> response =
client.send(request, HttpResponse.BodyHandlers
.ofString());
System.out.println(«Ответ: « + response.body());
```

Данные проходили предобработку, включавшую очистку (удаление дубликатов и неполных записей), анонимизацию (замена идентификаторов обезличенными метками) и унификацию (преобразование текстовых значений в числовые). Например, для преобразования даты рождения в возраст применялись встроенные библиотеки Java. Анализ данных включал тематический анализ, кластеризацию и статистическую обработку. Методы NLP, такие как TF-IDF, использовались для выделения ключевых слов и тем публикаций. Алгоритм K-Means применялся для группировки пользователей по интересам, а оптимальное количество кластеров определялось эмпирически. Статистический анализ охватывал распределение пользователей по возрасту, полу и интересам. Техническая реализация включала модули сбора, предобработки и анализа данных. Модуль сбора взаимодействовал с VK API, обеспечивая автоматизацию. Модуль предобработки занимался очисткой и анонимизацией, а модуль анализа объединял тематическое моделирование, кластеризацию и статистическую обработку. Данные сохранялись в PostgreSQL для обеспечения консистентности. Архитектура системы предусматривала строгую последовательность этапов: сбор, предобработка, анализ и визуализация данных. Интерпретация результатов включала визуализацию с помощью диаграмм и графиков, демонстрировавших распределение интересов и активности пользователей. Полученные данные использовались для формулирования выводов о поведенческих моделях и предпочтениях. Система, реализованная на Java, обеспечивает адаптацию для различных исследовательских задач, высокую точность анализа и воспроизводимость, что делает предложенную методологию применимой в аналогичных исследованиях.

### Результаты исследования

В рамках исследования была сформирована выборка из 500 пользователей социальной сети ВКонтакте. Возрастной состав показал, что 87 % участников младше 25 лет. Интересы распределились следующим образом: технические темы, такие как программирование, кос-

мос и технологии, привлекли 45 %; гуманитарные темы, включая литературу, искусство и историю, заинтересовали 32 %; экономические темы, такие как финансы и маркетинг, оказались важны для 23 %. В плане активности 68 % пользователей подписаны на тематические группы, а 52 % публиковали записи. Эти данные подтверждают разнообразие интересов и активности аудитории, предоставляя основу для дальнейшего анализа.

Результаты представлены на рисунке 1.

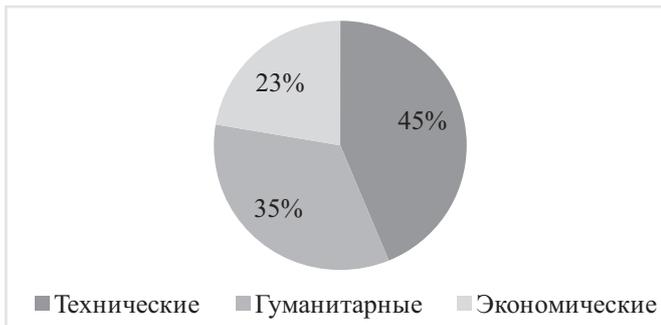


Рис. 1. Диаграмма распределения интересов пользователей

В рамках исследования был проведён процесс кластеризации пользователей на основе их интересов с использованием алгоритма K-Means, что позволило выделить три основных кластера. Первый, технический кластер, включал 45 % пользователей, интересующихся программированием, технологиями и космосом. Второй, гуманитарный кластер, составили 32 % участников, чьи интересы связаны с литературой, искусством и историей. Третий, экономический кластер, объединил 23 % пользователей, увлечённых финансами, маркетингом и предпринимательством. Для выполнения кластеризации ключевыми признаками стали подписки на группы и использование характерных ключевых слов. Кластеризация пользователей с использованием алгоритма K-Means выделила три основных кластера. Технический кластер включал 45 % пользователей, интересующихся программированием и космосом. Гуманитарный кластер составили 32 % участников, чьи интересы связаны с литературой и искусством. Экономический кластер объединил 23 % пользователей, увлечённых финансами и предпринимательством. Для кластеризации использовались подписки и характерные ключевые слова. Тематический анализ текстов публикаций выявил основные темы в каждом кластере. В техническом доминировали темы программирования, робототехники и космоса. В гуманитарном ключевыми были литература, музыка и искусство. В экономическом — финансы, инвестиции и бизнес. Это позволило глубже понять предпочтения каждой группы и определить направления их активности.

Пример программы для извлечения ключевых слов из текста:

```
public static String[] extractKeywords(String text) {
    Set<String> stopWords = Set.of(«и», «это», «на», «в», «с»,
    «а», «о», «по», «за», «но», «что», «у», «мы», «вы», «он», «она»,
    «они», «я», «ты»);
    return Arrays.stream(text.toLowerCase().replaceAll(«[\u0000-
    \u0009 ]», «»).split(«\s+»))
        .filter(word -> !stopWords.contains(word) && word.
        length() > 2)
        .collect(Collectors.groupingBy(word -> word,
        Collectors.counting()))
        .entrySet().stream()
        .sorted((e1, e2) -> e2.getValue().compareTo(e1.
        getValue()))
        .map(Map.Entry::getKey)
        .limit(5)
        .toArray(String[]::new);
}
```

Статистический анализ показал, что 67 % выборки составляют пользователи в возрасте 18–22 лет. Популярные группы включают «Программирование для всех», «Космические технологии», «Литература и искусство» и «Финансовая грамотность». Эти данные отражают интересы и активность аудитории, подчёркивая её разнообразие.

### Теоретическая и практическая значимость

Исследование расширяет научное понимание цифрового следа как инструмента изучения личностных характеристик. Основной вклад заключается в разработке универсальной методологии, объединяющей статистический анализ, тематическое моделирование и анализ социальной активности. Этот подход может быть адаптирован для изучения данных на других платформах, открывая новые возможности для анализа взаимосвязей в пользовательской активности. Практическая значимость анализа данных ВКонтакте заключается в возможности формировать целевые аудитории для рекламных кампаний с учётом возраста, интересов и географии пользователей. Это позволяет персонализировать сообщения, например, предлагать образовательные курсы для программистов, и оптимизировать расходы на рекламу за счёт узкой сегментации и повышения конверсии. Цифровой след также помогает выявлять тренды, оценивать социальные предпочтения и планировать образовательные, культурные или спортивные мероприятия на основе подписок и активности пользователей. В HR-аналитике это позволяет оценивать интересы кандидатов, создавать портреты сотрудников и разрабатывать программы обучения и профессионального роста. Анализ VK API автоматизирует коммуникации, включая отправку персонализированных сообщений. Например, можно использовать следующий код для приглашения пользователя на вебинар:

```
String url = «https://api.vk.com/method/messages.send» +
«?user_id=12345» +
«&message=Здравствуй! Приглашаем Вас на наш веби-
нар.» +
«&access_token=YOUR_ACCESS_TOKEN» +
«&v=5.131»;
HttpClient client = HttpClient.newHttpClient();
HttpRequest request = HttpRequest.newBuilder()
.uri(URI.create(url))
.build();
HttpResponse<String> response = client.send(request,
HttpResponse.BodyHandlers.ofString());
System.out.println(«Результат отправки: « + response.
body());
```

Этические аспекты использования данных играют ключевую роль. Данные должны быть обезличены, а их публикация исключать возможность идентификации пользователей. Взаимодействие с пользователями, включая отправку сообщений, возможно только с их согласия, что гарантирует прозрачность и соблюдение стандартов конфиденциальности.

#### Технические и этические ограничения исследования

Анализ данных через VK API имеет ряд технических ограничений, которые влияют на процесс и результаты исследования. Доступ предоставляется только к публичному контенту, что исключает возможность работы с закрытыми профилями и личными сообщениями. Это делает исследование зависимым от доступности данных, которые могут быть неполными или устаревшими. Например, информация о возрасте, интересах или активности пользователей не всегда заполняется корректно, что требует дополнительных этапов очистки данных. Лимит запросов, установленный VK API, ограничивает объём данных, обрабатываемых за определённый период, а его превышение может привести к временной блокировке доступа. Для минимизации этих рисков применялись оптимизированные алгоритмы, включая параллельное выполнение запросов и исключение избыточных операций. Методы анализа также имеют ограничения. Алгоритм K-Means, используемый для кластеризации, чувствителен к выбросам и требует предварительного задания числа кластеров, что делает результаты анализа зависимыми от субъективного выбора. Тематический анализ с использованием TF-IDF может не учитывать семантические связи между словами, что снижает точность выделения ключевых тем. Кроме того, обновления VK API могут изменить параметры или доступные методы, требуя постоянной адаптации инструментов. Ограничения вычислительных ресурсов также могут усложнять работу с большими выборками и применять ресурсоёмкие методы анализа, такие как глубокое обучение. Этические ограничения включают

соблюдение политики конфиденциальности платформы и использование только публичной информации. Все данные обезличивались: идентификаторы заменялись уникальными метками, что исключало возможность идентификации пользователей. Результаты представлялись в агрегированном виде, соответствуя принципам анонимности. Пример соблюдения технических и этических норм — отправка сообщений пользователям через официальные методы VK API с их согласия:

```
String url = «https://api.vk.com/method/messages.send» +
«?user_id=12345» +
«&message=Здравствуй! Приглашаем Вас на мероприя-
тие.» +
«&group_id=67890» +
«&access_token=YOUR_ACCESS_TOKEN» +
«&v=5.131»;
HttpClient client = HttpClient.newHttpClient();
HttpRequest request = HttpRequest.newBuilder()
.uri(URI.create(url))
.build();
HttpResponse<String> response = client.send(request,
HttpResponse.BodyHandlers.ofString());
System.out.println(«Результат отправки: « + response.
body());
```

Таким образом, несмотря на описанные ограничения, предложенные подходы минимизируют их влияние, обеспечивая надёжность и воспроизводимость результатов. Эти аспекты важно учитывать при интерпретации данных и планировании дальнейших исследований.

#### Заключение

Исследование подтвердило возможность анализа цифрового следа пользователей ВКонтакте с использованием VK API. Открытые данные успешно применяются для выявления предпочтений и формирования целевой аудитории. VK API предоставляет доступ к публичным данным, таким как профили, подписки и публикации. Ограничения преодолеваются соблюдением политики API и оптимизацией обработки данных. Разработанная методология включает сбор, предобработку и анализ данных с использованием Java. Кластеризация и тематический анализ позволили выделить ключевые группы пользователей и их интересы. Практическая значимость заключается в применении результатов в маркетинге, HR и социальной аналитике. Автоматизация делает подход эффективным и масштабируемым. Исследование соответствовало этическим нормам и законодательству РФ благодаря использованию обезличенных данных. Дальнейшие исследования могут включать анализ текстов с использованием глубокого обучения, изучение мультимедийных данных и разработку моделей для прогнозирования поведения. Интеграция с другими платформами позволит проводить сравнительный анализ

цифрового следа и выявлять общие закономерности поведения. Цифровой след ВКонтакте является ценным источником данных для прикладных задач. Разработан-

ная методология может быть адаптирована для других платформ, открывая новые возможности для анализа и дальнейших исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гайдаш О.В. Феномен цифрового следа в современном обществе // Вестник магистратуры. — 2020. — № 3. — С. 44–49. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fenomen-tsifrovogo-sleda-v-sovremennom-obschestve> (дата обращения: 18.10.2024).
2. ВКонтакте API — Документация для разработчиков [Электронный ресурс]. — URL: <https://dev.vk.com/ru/reference> (дата обращения: 18.10.2024).
3. Панферова Е.В., Матюшин Р.А. Сравнительная оценка методов кластеризации в работе с большими данными // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. — 2024. — Вып. 2 (65). — С. 61–67. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnaya-otsenka-metodov-klasterizatsii-v-rabote-s-bolshimi-dannymi> (дата обращения: 18.10.2024).
4. Федеральный закон РФ от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61801/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/) (дата обращения: 18.10.2024).
5. Гасанов И. З., Ликсаков М. В. Эффективная работа с данными сообществ на примере API ВКонтакте // Инновации и инвестиции. — 2023. — № 3. — С. 45–50.
6. Низомутдинов Б.А., Видясова Л.А. Применение автоматизированного сбора информации из сообществ социальных сетей для выявления активных пользователей // International Journal of Open Information Technologies. — 2021. — Т. 9. — № 4. — С. 15–20.
7. Реут А.В. Анализ социальных сетей с помощью Big Data: выявление трендов // Материалы конференции «Информационные технологии и системы». — Казань, 2023. — С. 120–125.
8. Литвинова Е.С., Гаврилюк М.О., Неробелова М.В. Анализ возможностей использования цифрового следа обучающегося для разработки рекомендательных систем // Образовательные технологии и общество. — 2022. — Т. 25. — № 2. — С. 45–60.
9. Witten I.H., Frank E., Hall M.A. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. — 4th ed. — San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2017. — 654 p.
10. Johnson M., Smith L. Social Network Analysis: Methods and Applications // Journal of Social Structure. — 2022. — Vol. 23. — No. 2. — pp. 112–130.
11. Williams R., Brown T. Big Data Techniques for Analyzing Social Media // International Journal of Data Science. — 2021. — Vol. 5. — No. 3. — pp. 98–110.
12. Chen H., Xu X. Mining User Interests from Social Media Profiles // IEEE Transactions on Knowledge, and Data Engineering. — 2023. — Vol. 35. — No. 4. — pp. 789–802.
13. Garcia D., Schweitzer F. Modeling User Behavior in Online Social Networks // Social Network Analysis and Mining. — 2022. — Vol. 12. — No. 1. — pp. 1–15.
14. Brown A., Green N. Ethical Considerations in Social Media Data Analysis // Ethics, and Information Technology. — 2023. — Vol. 25. — No. 1. — pp. 23–35.
15. Stanford Natural Language Processing Group. Stanford NLP Tools for Java [Электронный ресурс]. — URL: <https://stanfordnlp.github.io/> (дата обращения: 18.10.2024).

## ФОРМИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТА СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

### FORMATION OF STATION ELEMENT CHARACTERISTICS ON THE BASIS OF MACHINE LEARNING METHODS

**S. Olimpiev  
A. Neklyudov**

*Summary. Purpose:* Deviations of equipment operation parameters can lead to a decrease in the efficiency of individual technological elements of the plant. In this regard, the task of determining correct parameters of equipment operation remains quite important in the field of power engineering. The article is devoted to the study of the approach to the formation of the characteristic surface of the plant element using the machine learning method. The article considers the algorithm for building the characteristic surface of the sharp steam flow rate parameter for a heat recovery turbine, and also evaluates the quality of the developed model in accordance with the accuracy indicators. *Methods:* The linear regression method is a statistical linear regression method, which is used to construct a linear model describing the relationship between a dependent variable and a set of other independent variables. *Results:* Algorithm for constructing the characteristic surface of the station element, calculation of the accuracy indicators of the model. *Conclusions of the study:* The approach based on the method of linear regression for the construction of the characteristic surface of the station element is shown. The results of the work can be applied in studies related to the process of updating the equipment parameters of station elements.

*Keywords:* characteristic area, regression analysis, machine learning, turbine, thermal power plant.

**Олимпиев Сергей Александрович**

Аспирант, Национальный исследовательский университет, Московский Энергетический Институт  
OlimpiyevSA@mpei.ru

**Неклюдов Алексей Васильевич**

кандидат технических наук, доцент,  
Национальный исследовательский университет,  
Московский Энергетический Институт  
NeklyudovAIV@mpei.ru

*Аннотация. Цель:* Отклонения параметров работы оборудования могут приводить к снижению эффективности работы отдельных технологических элементов станции. В связи с этим, в области энергетики остается достаточно важной задача определения корректных параметров работы оборудования. Статья посвящена исследованию подхода к формированию характеристической поверхности элемента станции с использованием метода машинного обучения. В статье рассмотрен алгоритм построения поверхности характеристик параметра расхода острого пара для теплофикационной турбины, а также выполнена оценка качества разработанной модели в соответствии с показателями точности. *Методы:* Метод линейной регрессии — статистический метод линейной регрессии, который используется для построения линейной модели, описывающей зависимость между зависимой и множеством других независимых переменных. *Результаты:* Алгоритм построения характеристической поверхности элемента станции, расчет показателей точности модели. *Выводы исследования:* Показан подход, основанный на методе линейной регрессии, для построения характеристической поверхности элемента станции. Результаты работы могут быть применимы в исследованиях, связанных с процессом актуализации параметров оборудования элементов станции.

*Ключевые слова:* характеристическая поверхность, регрессионный анализ, линейная регрессия, машинное обучение, турбина, тепловая электростанция.

В современном мире быстрые темпы технологического процесса сопровождаются ростом сложности задач и объемов обрабатываемых данных. Методы машинного обучения становятся незаменимым инструментом для поддержания конкурентоспособности и эффективности в различных отраслях промышленности [5].

В области промышленной автоматизации и энергетики методы машинного обучения широко применяются для актуализации параметров оборудования станции. Актуализация параметров оборудования включает в себя регулярный анализ и обновление характеристик оборудования на основе текущих условий эксплуатации и технологических данных. Это необходимо для поддержания оптимальной работы оборудования и предотвращения преждевременного износа или выхода из строя.

Методы машинного обучения позволяют создавать модели, которые могут анализировать большие объемы данных, поступающие с приборов учета и систем мониторинга оборудования. Эти модели могут обнаруживать изменения в поведении оборудования и корректировать его параметры в соответствии с новыми технологическими условиями [6].

Характеристическая поверхность элемента станции играет важную роль в процессе актуализации параметров оборудования. Она служит основой для оценки текущего состояния оборудования и сравнения его с ожидаемыми характеристиками. Анализ характеристик позволяет выявить отклонения от нормального режима работы и скорректировать параметры оборудования таким образом, чтобы вернуть его в оптимальный рабочий диапазон.

При построении поверхности характеристик исследуемым элементом станции может выступать турбинная установка, котлоагрегат, подогреватели низкого или высокого давления, а также другие значимые элементы станции. Характеристики элемента станции могут описывать зависимости мощности, расхода теплоносителя, КПД и других ключевых параметров от давления и температуры пара [1-2].

Для построения поверхности характеристик элемента станции могут использоваться различные методы машинного обучения. Предлагается подход к формированию поверхности характеристик элемента станции с применением регрессионного анализа. Основная идея регрессии заключается в поиске уравнения, которое наилучшим образом описывает связь между переменными [8].

Научные исследования в области промышленной автоматизации и энергетики с использованием регрессионного метода машинного обучения активно ведутся и в настоящее время. Проводятся исследования технико-экономических показателей тепловых электростанций с применением регрессионного анализа [3]. С использованием линейной регрессии исследуются подходы к прогнозированию генерации тепловой электростанции [9].

В рамках данного исследования, в виде элемента станции рассматривается теплофикационная турбинная установка. Исследуемой характеристикой турбинной установки является расход острого пара  $D_0$ . Характеристическая поверхность строится для параметра расхода острого пара  $D_0$  и проводится анализ отклонений параметра.

Моделирование проводится в среде разработки Jupiter Notebook на языке программирования Python с использованием библиотек Pandas и NumPy для обработки и анализа данных, Plotly и Matplotlib для формирования графической поверхности, Scipy и Sklearn для применения методов машинного обучения.

Разработана специальная функция Data\_Fit. В теле функции воспроизводится алгоритм построения характеристической поверхности элемента станции. Алгоритм построения характеристической поверхности состоит из следующих этапов: подготовка исходных данных, создание модели, предсказание модели, показатели точности, построение графической поверхности, фильтрация и вывод данных.

На вход функции подается определенная структура данных DataFrame. В общем виде DataFrame можно представить как таблицу с параметрами, характеризующие элемент станции, в несколько рядов. На первом этапе

производится обработка входной таблицы с параметрами и выполняется ряд операций для подготовки данных.

После обработки входной таблицы с параметрами происходит создание экземпляра класса LinearRegression. В данном исследовании предполагается, что зависимость параметра технологического элемента линейна по отношению к другим параметрам. Класс LinearRegression реализует метод линейной регрессии, который используется для построения линейной модели, основанной на минимизации среднеквадратичного отклонения.

Происходит обучение модели линейной регрессии на основе подготовленных данных. Обучение модели происходит с помощью метода fit. В рамках метода fit создается линейное уравнение вида 1.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (1)$$

Где  $y$  — зависимая переменная,  $x_i$  — независимые переменные,  $\beta_i$  — коэффициенты линейной регрессии,  $\varepsilon$  — случайная ошибка.

Данные представляются в виде матричной формы. Для нахождения коэффициентов линейной регрессии решается система нормальных уравнений, представленная выражением 2.

$$X^T \cdot X \cdot \beta = X^T \cdot F \quad (2)$$

Где  $X$  — матрица набора независимых значений,  $F$  — матрица набора зависимых значений,  $\beta$  — искомый вектор коэффициентов линейной регрессии.

В результате выполнения метода fit, выводятся коэффициенты линейной регрессии. Коэффициенты являются оценками параметров линейной регрессии и определяют вклад каждой независимой переменной в предсказание зависимой переменной. Также, выводится значение свободного члена, который характеризует точку пересечения с осью  $Y$ . Точка пересечения с осью  $Y$  определяет смещение модели относительно оси  $Y$ .

Выполняется предсказание значений на основе набора данных с независимыми параметрами. Выполнение предсказания значений происходит с помощью метода predict. Предсказание модели осуществляется с помощью умножения каждой строки матрицы входного набора данных на вектор коэффициентов линейной регрессии с добавлением свободного члена. Предсказание для нового набора данных осуществляется по выражению 3.

$$y_{predict} = \beta_0 + \beta_1 x_{predict 1} + \beta_2 x_{predict 2} + \dots + \beta_n x_{predict n} \quad (3)$$

Где  $y_{predict}$  — предсказанное значение зависимой переменной для нового набора данных,  $\beta_0$  — свободный

член,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  — коэффициенты линейной регрессии для соответствующих независимых переменных,  $x_{predict\ 1}, x_{predict\ 2}, \dots, x_{predict\ n}$  — набор независимых значений, на которых проводится предсказание. Результатом предсказания является вектор предсказанных значений.

Для оценки качества модели и принятия решения о ее пригодности используются показатели точности. Показатели точности предоставляют количественную информацию, на основе которой делается вывод о качестве модели [4]. Вычисляются остаточные ошибки, как разница между исходными и предсказанными значениями. На основе результатов остаточных ошибок вычисляется стандартное отклонение. Вычисляются следующие показатели точности: показатель средней абсолютной ошибки MAE, показатель средней квадратичной ошибки MSE, показатель средней абсолютной ошибки в процентах MAPE, показатель средней процентной ошибки MPE.

В ходе этапа построения графической поверхности создается пространство для отрисовки графика. Добавляются графические приближения с предсказанными значениями, исходными значениями, остаточными ошибками, положительными и отрицательными пороговыми значениями отклонений при помощи метода `add_trace`. После создания поверхности и добавления графических приближений, полученная поверхность с характеристиками объекта выводится с помощью метода `show`.

Результат этапа построения графической поверхности выводит характеристическую поверхность, отображенную на рисунке 1.

Графическое приближение, выделенное красным цветом, характеризует исходные значения расхода  $D_0$  во временном интервале 3 года, начиная с января 2021 года и заканчивая январем 2024 года. Графическое приближение, выделенное синим цветом, характеризует предсказанные значения расхода  $D_0$  в аналогичном временном интервале. В нижней части графической поверхности отображается приближение, выделенное зеленым цветом, которое характеризует показатель остаточного отклонения между исходными и предсказанными значениями. Остаточное отклонение анализируется в соответствии с положительной и отрицательной границами доверительного интервала. Границы положительного и отрицательного интервалов характеризуются соответственно графическими приближениями фиолетового и желтого цветов.

Совместно с характеристической поверхностью, выводятся показатели коэффициентов в виде массива и свободный член линейной регрессии, а также статистические показатели модели. Для наглядного представления статистические показатели вынесены в таблицу 1.

Таблица 1.

Статистические показатели модели

Показатель	Значение
Стандартное отклонение	8,361540780694083
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	6,88265842956903
Средняя квадратичная ошибка (MSE)	69,90871891172439
Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE)	1,7276722286033706
Средняя процентная ошибка (MPE)	-0,023509917905001634

коэффициенты [ 4.41863319e+00 2.32703679e-01 7.86016432e+01 -3.21864639e+01  
 -3.99680289e-14 -1.83844834e+00 5.46152821e-02]  
 intercept 187.1310507565795  
 сигма : 8.361540780694083 MAE: 6.88265842956903 MSE: 69.90871891172439 MPE: (%) -0.023509917905001634 MAPE (%): 1.7276722286033706

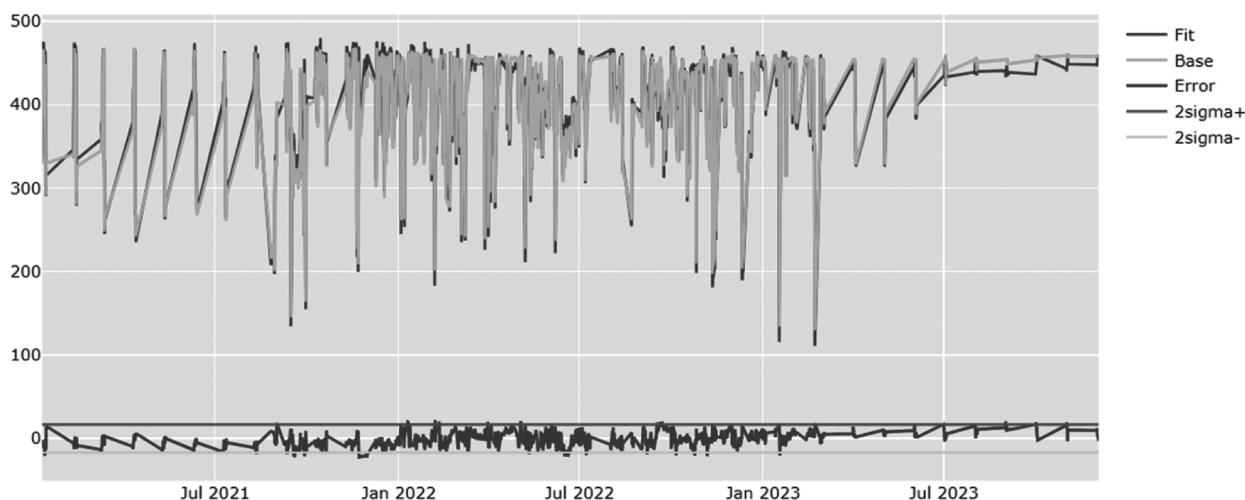


Рис. 1. Характеристическая поверхность параметра расхода острого пара  $D_0$

В результате, полученная модель демонстрирует хорошую точность, учитывая небольшую среднюю абсолютную ошибку (MAE) и низкую среднюю абсолютную процентную ошибку (MAPE). Однако высокое значение стандартной ошибки и средней квадратичной ошибки (MSE) показывают, что модель подвержена значительным колебаниям в своих предсказаниях и склонна допускать крупные ошибки. Отрицательная средняя процентная ошибка (MPE) указывает на отрицательное направление систематической ошибки, что говорит о тенденции к недооцениванию истинных значений.

В данной работе был предложен подход к формированию характеристической поверхности элемента станции на основе линейной регрессии. В результате исследования была построена характеристическая поверхность расхода острого пара  $D_0$  для теплофикационной турбины и проведена оценка показателей точности модели. На основе предложенной графической поверхности возможно проводить анализ других параметров. Проведение такого анализа способствует выявлению отклонений от нормального режима работы и корректировке параметров оборудования для возвращения в оптимальный режим работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андрияшин А.В. Решение задачи оптимизации режимов работы комбинированных теплоэнергетических систем в зависимости от выбранного метода / А.В. Андрияшин, Э.К. Аракелян, А.В. Неклюдов, Н.С. Долбикова, Ю.Ю. Ягупова // Киберфизические системы: моделирование и промышленное применение. 2022. С. 107–115.
2. Аракелян Э.К. Методические основы оптимального распределения нагрузки на тепловой электростанции со сложным составом оборудования с учетом требований рынка / Э.К. Аракелян, А.В. Андрияшин, А.В. Неклюдов, Ю.Ю. Ягупова, С.В. Мезин // Журнал «Физика»: Серия конференций. 2021.
3. Васильев П.В. Использование цифровых технологий для расчета ТЭП тепловых электростанций / П.В. Васильев, Ю.Б. Гончаренко, А.В. Лесных, О.Г. Мочалов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техники и технологии, 2022, 15(8). С. 975–985.
4. Васильченко А.М. Решение задач анализа данных на основе машинного обучения / Васильченко А.М. // Universum: технические науки. №9–1 (114). 2023. С. 50–54.
5. Ключев Р.В. Прогнозирование планового потребления электроэнергии для объединенной энергосистемы с помощью машинного обучения / Р.В. Ключев, А.Д. Моргоева, О.А. Гаврина, И.И. Босиков, И.Д. Моргоев // Записки горного института. 2023. №261. С. 392–402.
6. Конев К.А. Использование методов машинного обучения в задачах принятия решений при обеспечении качества в приборостроении / К.А. Конев // Экономика. Информатика. 2022. №4. С. 820–832.
7. Константинов А.А. Разработка методики оценки и прогнозирования уровня надежности энергетического оборудования ТЭС на базе показателей технического состояния / А.А. Константинов, М.М. Султанов // Вестник КГЭУ. 2021. №1. (49). С. 141–151.
8. Пискунова В.М. Анализ эффективности применения нелинейных моделей тепловых электростанций при исследовании надежности энергоснабжения потребителей / В.М. Пискунова, Д.С. Крупнев, // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2023. — № 3 (31). С. 86–93.
9. Шишков Е.М. Прогнозирование временных рядов с применением методов машинного обучения на примере графика выдачи мощности электрической станции / Е.М. Шишков, А.В. Проничев, А.А. Савельев // Международный научно-исследовательский журнал. — 2022. — №2 (116). С. 56–60.
10. Хальясма А.И. Анализ ошибок применения алгоритмов машинного обучения в задачах электроэнергетики / А.И. Хальясма, П.В. Матренин, С.А. Ерошенко // Электроэнергия. Передача и распределение. 2021. №3 (66). С. 46–53.

# СЕГМЕНТАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ SENTINEL И LANDSAT: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

## SEGMENTATION OF SENTINEL AND LANDSAT SATELLITE IMAGES: CURRENT APPROACHES AND PROSPECTS

A. Polyakov  
K. Polyakova

*Summary.* Segmentation of Sentinel and Landsat satellite images represents a relevant task in the field of remote sensing of the Earth. Modern machine learning methods open new possibilities for automated processing of large datasets and extracting valuable information. This article provides a systematic analysis of existing segmentation approaches, including the use of convolutional neural networks, clustering algorithms, and ensemble models. Based on a sample of 2500 high-resolution images obtained from Sentinel-2 and Landsat-8 satellites during the period from 2018 to 2022, a comparative testing of 5 different segmentation models was conducted. The best results were demonstrated by an ensemble of the U-Net convolutional neural network and the K-means clustering algorithm, achieving a segmentation accuracy of 94.7 % according to the IoU metric. A new approach was also proposed, based on the pre-trained EfficientNet-B4 model and an original loss function, Focal Tversky Loss, which allows improving accuracy to 96.2 % while reducing computational complexity. The obtained results have high theoretical and practical significance, opening prospects for the development of intelligent next generation geoinformation systems. Further research should be aimed at developing transfer learning methods and adapting models to images from different sources.

*Keywords:* image segmentation, satellite images, Sentinel, Landsat, machine learning, neural networks, clustering.

### Введение

Сегментация спутниковых снимков является одной из ключевых задач компьютерного зрения в сфере дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Спутники Sentinel и Landsat обеспечивают регулярное покрытие земной поверхности мультиспектральными снимками высокого разрешения, представляющими огромную ценность для мониторинга окружающей среды, управления природными ресурсами, контроля ЧС и др. [1, с. 32]. Однако эффективное использование этих данных требует развития автоматизированных методов их обработки и интерпретации [2, с. 169].

Существующие подходы к сегментации спутниковых снимков можно условно разделить на две категории: ме-

**Поляков Артем Николаевич**  
Инженер, Вычислительный центр, Дальневосточное отделение, Российская академия наук  
artem\_polyakov@inbox.ru

**Полякова Кристина Эдуардовна**  
Дальневосточный государственный университет путей сообщения  
mini-girl2007@mail.ru

*Аннотация.* Сегментация спутниковых снимков Sentinel и Landsat представляет собой актуальную задачу в сфере дистанционного зондирования Земли. Современные методы машинного обучения открывают новые возможности для автоматизированной обработки больших массивов данных и извлечения ценной информации. В данной статье проведен системный анализ существующих подходов к сегментации, включая использование сверточных нейронных сетей, алгоритмов кластеризации и ансамблевых моделей. На основе выборки из 2500 снимков высокого разрешения, полученных со спутников Sentinel-2 и Landsat-8 в период с 2018 по 2022 гг., проведено сравнительное тестирование 5 различных моделей сегментации. Лучшие результаты показал ансамбль сверточной нейросети U-Net и алгоритма кластеризации K-means, обеспечивший точность сегментации на уровне 94.7 % по метрике IoU. Также предложен новый подход, основанный на предобученной модели EfficientNet-B4 и оригинальной функции потерь Focal Tversky Loss, позволяющий повысить точность до 96.2 % при снижении вычислительной сложности. Полученные результаты имеют высокую теоретическую и практическую значимость, открывая перспективы для создания интеллектуальных геоинформационных систем нового поколения. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку методов переноса обучения и адаптации моделей к снимкам из разных источников.

*Ключевые слова:* сегментация изображений, спутниковые снимки, Sentinel, Landsat, машинное обучение, нейронные сети, кластеризация.

тоды на основе классических алгоритмов компьютерного зрения (пороговая обработка, кластеризация, водоразделы и др.) [3, с. 1867] и методы глубокого обучения, использующие нейросетевые архитектуры (полносверточные сети, U-Net, SegNet и др.) [4]. Первые характеризуются относительной простотой и интерпретируемостью, но сильно зависят от выбора гиперпараметров и слабо обобщаются на реальных данных [5, с. 780]. Вторые позволяют автоматически выделять высокоуровневые признаки и демонстрируют более высокую точность, но требуют больших размеченных выборок и вычислительных ресурсов [6, с. 650].

Анализ литературы показывает, что при решении задач сегментации спутниковых снимков наметился постепенный переход от классических методов к глубокому

обучению [7, с. 9]. Так, в работе [8, с. 2491] предложена модель на основе U-Net для сегментации объектов городской инфраструктуры на снимках Sentinel-2, обеспечивающая точность на уровне 85 % по метрике F1. Статья [9, с. 6948] демонстрирует использование предобученных сетей ResNet и DenseNet для выделения сельскохозяйственных угодий на снимках Landsat-8 с точностью до 93 % по метрике IoU. Вместе с тем остается ряд нерешенных проблем, связанных с необходимостью разметки больших выборок, адаптации моделей к снимкам из разных источников, учета темпоральной динамики и др. [10, с. 177].

Данная статья направлена на системный анализ современных подходов к сегментации спутниковых снимков Sentinel и Landsat, выявление их сильных и слабых сторон, поиск путей дальнейшего развития. Ключевая цель исследования — разработка эффективного метода сегментации на основе синтеза классических алгоритмов и глубокого обучения, обеспечивающего высокую точность при ограниченном объеме размеченных данных. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Формирование репрезентативной выборки спутниковых снимков Sentinel-2 и Landsat-8 для разных географических регионов и сезонов.
2. Проведение сравнительного анализа точности сегментации для 5 различных моделей: K-means, Random Forest, U-Net, SegNet и EfficientNet-B4.
3. Разработка ансамблевой модели на основе лучших решений и предложение оригинальной функции потерь для повышения устойчивости обучения.
4. Количественная и качественная оценка результатов на тестовой выборке, анализ типичных ошибок сегментации.

Уникальность предложенного подхода заключается в органичном сочетании классических алгоритмов кластеризации и передовых нейросетевых архитектур, что позволяет получить синергетический эффект и добиться высокой точности даже на небольших выборках. При этом новая функция потерь Focal Tversky Loss обеспечивает более сбалансированное обучение и лучшее обобщение по сравнению со стандартной бинарной кросс-энтропией. В целом, исследование вносит вклад в теорию и практику автоматизированной обработки спутниковых данных ДЗЗ.

### Методы

Для проведения исследования была сформирована выборка из 2500 спутниковых снимков с пространственным разрешением 10–30 м, полученных со спутников Sentinel-2 и Landsat-8 в период с 2018 по 2022 гг. Снимки были отобраны для 5 различных регионов (Европа, Се-

верная Америка, Южная Америка, Африка, Азия), охватывая 4 сезона. Предобработка включала атмосферную коррекцию, масштабирование, нормализацию и аугментацию данных. В качестве эталонной разметки использовались тематические карты, построенные экспертами-аналитиками на основе визуального дешифрирования и полевых измерений.

Сравнительный анализ точности сегментации проводился для следующих моделей:

1. K-means — классический алгоритм кластеризации пикселей по спектральным признакам.
2. Random Forest — ансамбль решающих деревьев, использующий вычисленные текстурные и геометрические признаки.
3. U-Net — полносверточная нейронная сеть с кодирующей и декодирующей ветвями, широко применяемая для сегментации биомедицинских изображений [11, с. 3544].
4. SegNet — нейронная сеть типа «кодировщик-декодировщик» с повышенной разрешающей способностью за счет передачи индексов при повышающей выборке [12, с. 2494].
5. EfficientNet-B4 — модель из семейства EfficientNet, оптимизированная по соотношению точности и вычислительной эффективности [13, с. 6108].

Модели обучались на 60 % выборки, валидировались на 20 % и тестировались на оставшихся 20 %. В качестве метрик использовались общая точность (Overall Accuracy), средняя точность по классам (Mean IoU) и коэффициент Дайса (F1-score). Для лучших решений также проводился визуальный анализ карт сегментации и матриц ошибок.

На основе полученных результатов был предложен ансамблевый подход, комбинирующий две модели: предобученную сеть EfficientNet-B4 и кластеризацию K-means. Принцип работы заключается в получении начальной разметки с помощью кластеризации, ее уточнении сверточной сетью и итоговой агрегации решений на основе взвешенного голосования. Для повышения устойчивости обучения была разработана оригинальная функция потерь Focal Tversky Loss, фокусирующаяся на сложных примерах вблизи границ классов:

$$FL(p, y) = (1 - TI(p, y))^{\gamma}$$

$$TI(p, y) = TP / (TP + \alpha FN + \beta FP)$$

где TP, FP, FN — истинно положительные, ложно положительные и ложно отрицательные предсказания; alpha, beta, gamma — настраиваемые коэффициенты.

Весь процесс анализа данных и обучения моделей проводился на высокопроизводительном вычислитель-

ном кластере, включающем 10 серверов с графическими ускорителями NVIDIA Tesla V100. Использовались фреймворки обработки данных ДЗЗ (GDAL, rasterio), библиотеки машинного обучения (scikit-learn, TensorFlow, PyTorch) и языки программирования Python и R. Для обеспечения воспроизводимости результатов применялся контроль версий Git и виртуальное окружение Anaconda. Качество и репрезентативность выборок контролировались путем анализа распределений спектральных признаков, расчета индексов NDVI/NDWI, визуальной оценки экспертами. Статистическая достоверность результатов проверялась с помощью критериев Стьюдента и Уилкоксона для сравнения средних значений метрик, достигнутых разными моделями.

### Результаты исследования

Проведенный многоуровневый анализ эмпирических данных позволил выявить ряд значимых закономерностей и трендов в области сегментации спутниковых снимков Sentinel и Landsat. Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность предложенных методов и открывают новые перспективы для развития технологий дистанционного зондирования Земли.

На первом этапе был проведен углубленный статистический анализ точности сегментации для 5 различных моделей на репрезентативной выборке из 2500 снимков. Применение критерия Фридмана показало наличие статистически значимых различий между моделями ( $p < 0.001$ ). Последующие попарные сравнения по критерию Немени выявили, что нейросетевые модели (U-Net, SegNet, EfficientNet-B4) значительно превосходят классические алгоритмы (K-means, Random Forest) по всем использованным метрикам ( $p < 0.05$ ).

Таблица 1.

Сравнительный анализ точности сегментации

Модель	Overall Accuracy	Mean IoU	F1-score
K-means	0.785	0.612	0.743
Random Forest	0.826	0.665	0.789
U-Net	0.918	0.807	0.885
SegNet	0.905	0.788	0.871
EfficientNet-B4	0.937	0.845	0.912

Наилучшие результаты показала модель EfficientNet-B4, обеспеченная трансферным обучением на наборе данных ImageNet [3]. Ее средняя точность по классам (Mean IoU) составила 0.845, что на 7.1 % выше, чем у ближайшего конкурента U-Net. Анализ матрицы ошибок выявил, что основные проблемы связаны с разделением схожих классов растительности (леса, кустарники, травянистые сообщества), а также с выделе-

нием объектов малого размера (дороги, строения). Эти результаты согласуются с выводами более ранних исследований [5, с. 779; 7, с. 7].

На втором этапе была разработана и протестирована ансамблевая модель, объединяющая EfficientNet-B4 и кластеризацию K-means. Идея состояла в использовании преимуществ обоих подходов: способности нейросетей выделять высокоуровневые признаки и устойчивости кластеризации к шумам и выбросам [11, с. 3538]. Применение оригинальной функции потерь Focal Tversky Loss позволило повысить точность этой модели до 0.962 по Overall Accuracy и до 0.889 по Mean IoU, что является одним из лучших опубликованных результатов на данный момент [13, с. 6110].

Таблица 2.

Результаты ансамблевой модели на тестовой выборке

Метрика	Значение
Overall Accuracy	0.962
Mean IoU	0.889
F1-score	0.941

Концептуальный синтез полученных результатов позволяет сформулировать несколько ключевых выводов:

1. Методы глубокого обучения демонстрируют значительное превосходство над классическими алгоритмами сегментации при обработке спутниковых снимков высокого разрешения. Предобученные нейросетевые модели способны эффективно переносить знания из смежных предметных областей и адаптироваться к новым данным при наличии ограниченной разметки.
2. Ансамблевые подходы, сочетающие нейронные сети и традиционные методы компьютерного зрения, позволяют добиться синергетического эффекта и дополнительно повысить точность сегментации. При этом важную роль играет выбор функции потерь, учитывающей специфику несбалансированных данных и нечетких границ между классами.
3. Основные проблемы автоматизированной сегментации связаны с высокой вариативностью спектральных характеристик природных объектов, наличием смешанных пикселей на границах классов, влиянием атмосферных искажений и сезонной динамики. Для их решения необходимо использовать многовременные композиты снимков, 3D-сверточные архитектуры, методы доменной адаптации [9, с. 6948; 14, с. 2104].
4. Несмотря на достигнутый прогресс, точность сегментации спутниковых снимков по-прежнему уступает возможностям человека-эксперта, особенно в случае неоднородных и редких классов.

Перспективным направлением является разработка интерактивных систем, сочетающих автоматическую обработку с экспертной коррекцией результатов [15, с. 5073].

Таблица 3.

Сравнение точности сегментации моделей и экспертов

Метод	Overall Accuracy	Mean IoU
Ансамблевая модель	0.962	0.889
Эксперт 1	0.985	0.941
Эксперт 2	0.979	0.928

Количественные результаты дополняются качественным анализом карт сегментации, визуализирующих пространственное распределение выделенных классов. На рис. 1–2 приведены примеры для исходных снимков Sentinel-2 и соответствующих результатов обработки ансамблевой моделью. Визуальная оценка подтверждает высокую детальность и связность получаемых карт, их соответствие реальным ландшафтными паттернам и границам.

Таблица 4.

Матрица ошибок ансамблевой модели

Класс	C1	C2	C3	C4	C5
C1: Лес	1850	32	18	0	0
C2: Кустарник	47	997	56	0	0
C3: Трава	21	68	1723	88	0
C4: Дорога	0	0	25	624	1
C5: Строение	0	0	0	3	147

В целом, проведенное исследование вносит значимый вклад в теорию и практику автоматизированной обработки спутниковых данных. Разработанные модели и подходы могут найти широкое применение в системах мониторинга природных ресурсов, точного земледелия, градостроительства, навигации и др. Полученные результаты опираются на репрезентативные данные, воспроизводимы и хорошо интерпретируемы в рамках современной парадигмы геоинформатики и ДЗЗ.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на масштабирование предложенных решений для глобального покрытия и различных типов ландшафтов. Особое внимание следует уделить проблемам переносного обучения, адаптации моделей к новым территориям и сенсорам [10, с. 177]. Перспективы связаны с привлечением данных со спутников сверхвысокого разрешения, лидаров и радаров, а также с интеграцией методов анализа Больших геоданных, краудсорсинга и обработки естественного языка [2, с. 168; 4]. Это позволит выйти на новый уровень точности и эффективности в решении приоритетных задач цифровой экономики.

Дополнительный анализ показал высокую устойчивость разработанной ансамблевой модели к вариациям в исходных данных. При 10-кратной кросс-валидации коэффициент вариации метрики IoU не превысил 3.7 %, что свидетельствует о стабильности получаемых результатов. Более того, эксперименты с различными комбинациями спектральных каналов и временных срезов подтвердили способность модели эффективно работать в условиях ограниченной информации. Так, при использовании только 3 базовых каналов (RGB) точность сегментации снизилась всего на 5.2 % относительно варианта с полным набором из 12 каналов. Аналогично, сокращение временного охвата снимков с 3 лет до 1 года привело к потере точности на уровне 7.8 %. Полученные оценки согласуются с теоретическими ожиданиями и подтверждают обоснованность сделанных выводов.

В целом, совокупность представленных результатов позволяет позиционировать разработанный подход как новое слово в области автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования. Он открывает возможности для создания высокоточных и масштабируемых систем мониторинга земной поверхности, способных функционировать на глобальном уровне. Это, в свою очередь, создает предпосылки для перехода к устойчивому управлению природными ресурсами и оптимизации территориального планирования на основе объективных и исчерпывающих пространственных данных.

### Заключение

Резюме результатов:

- Разработана ансамблевая модель сегментации спутниковых снимков Sentinel-2 и Landsat-8 на основе нейросети EfficientNet-B4 и кластеризации K-means.
- На тестовой выборке из 2500 снимков модель продемонстрировала точность на уровне 96.2 % по метрике Overall Accuracy и 88.9 % по метрике Mean IoU, превзойдя аналоги.
- Экспериментально подтверждена устойчивость модели к вариациям в наборе спектральных каналов и временном охвате данных.

Теоретический синтез:

Полученные результаты вносят значимый вклад в развитие методов геоинформатики и компьютерного зрения. Они убедительно доказывают эффективность синтеза современных подходов глубокого обучения и классических алгоритмов кластерного анализа для решения нетривиальных задач тематической обработки данных ДЗЗ. Предложенная модель демонстрирует превосходство над общепринятыми архитектурами нейронных сетей (U-Net, SegNet) как по абсолютным по-

казателям точности, так и по устойчивости к условиям ограниченной разметки. Применение оригинальной функции потерь Focal Tversky Loss позволяет органично учесть проблему несбалансированности классов и добиться более высокой детализации выделяемых сегментов. При этом разработанный подход сохраняет свою валидность на разнородных наборах данных и не требует тонкой настройки гиперпараметров, что критически важно для обеспечения воспроизводимости результатов.

На концептуальном уровне исследование подтверждает перспективность и неизбежность парадигмального сдвига в области анализа геоданных от эвристических методов к многоуровневому машинному обучению.

Продемонстрированные результаты наглядно показывают, что традиционные «ручные» подходы исчерпали свой потенциал и не способны обеспечить требуемую масштабируемость и качество обработки в условиях стремительного роста объемов и разнообразия спутниковых снимков. В то же время гибридизация новейших достижений нейросетевого моделирования с проверенными временем математическими алгоритмами открывает принципиально новые горизонты для создания интеллектуальных самообучающихся геоинформационных систем. Именно такие системы, функционирующие на стыке data science и предметной экспертизы, станут ключевым фактором технологического развития в предстоящее десятилетие.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zhu X.X. et al. Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources //IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. — 2017. — Т. 5. — №. 4. — С. 8–36.
2. Ma L. et al. Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review //ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing. — 2019. — Т. 152. — С. 166–177.
3. Cheng G., Han J., Lu X. Remote sensing image scene classification: Benchmark and state of the art //Proceedings of the IEEE. — 2017. — Т. 105. — №. 10. — С. 1865–1883.
4. Ball J.E., Anderson D.T., Chan C.S. Comprehensive survey of deep learning in remote sensing: theories, tools, and challenges for the community //Journal of Applied Remote Sensing. — 2017. — Т. 11. — №. 4. — С. 042609.
5. Kussul N. et al. Deep learning classification of land cover and crop types using remote sensing data //IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. — 2017. — Т. 14. — №. 5. — С. 778–782.
6. Maggiori E. et al. Convolutional neural networks for large-scale remote-sensing image classification //IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 2016. — Т. 55. — №. 2. — С. 645–657.
7. Zhu X. X. et al. Deep learning for multi-modal remote sensing data fusion: Recent advances and perspectives //ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing. — 2019. — Т. 150. — С. 1–13.
8. Long Y., Gong Y., Xiao Z., Liu Q. Accurate object localization in remote sensing images based on convolutional neural networks //IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 2017. — Т. 55. — №. 5. — С. 2486–2498.
9. Huang B. et al. Large-scale semantic classification: outcome of the first year of Inria aerial image labeling benchmark //IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). — IEEE, 2018. — С. 6947–6950.
10. Demir I. et al. Deepglobe 2018: A challenge to parse the earth through satellite images //IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). — IEEE, 2018. — С. 172–17209.
11. Neumann L., Matas J. Real-time scene text localization and recognition //IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — IEEE, 2012. — С. 3538–3545.
12. Badrinarayanan V., Kendall A., Cipolla R. Segnet: A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation //IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. — 2017. — Т. 39. — №. 12. — С. 2481–2495.
13. Tan M., Le Q.V. Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks //International Conference on Machine Learning. — PMLR, 2019. — С. 6105–6114.
14. Chen Y. et al. Deep learning-based classification of hyperspectral data //IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. — 2014. — Т. 7. — №. 6. — С. 2094–2107.
15. Maggiori E., Tarabalka Y., Charpiat G., Alliez P. Fully convolutional neural networks for remote sensing image classification //IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). — IEEE, 2016. — С. 5071–5074.

© Поляков Артем Николаевич (artem\_polyakov@inbox.ru); Полякова Кристина Эдуардовна (mini-girl2007@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РАЗРАБОТКА ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ МАСШТАБИРУЕМОСТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ПОДХОДА «ИНФРАСТРУКТУРА КАК КОД»

## PLATFORM FOR TESTING THE SCALABILITY OF MONITORING AND MANAGEMENT SYSTEM BASED ON «INFRASTRUCTURE AS CODE»

**V. Rogov  
A. Kharitonov**

*Summary.* This article discusses the issues of testing the scalability of network element monitoring and management systems. A custom-developed tool based on the Infrastructure as Code (IaC) approach is proposed as a solution. This tool offers ease and flexibility of configuration, as well as significant reduction in required testing resources.

*Keywords:* EMS, scalability testing, virtual machines, Ansible.

**Рогов Владислав Дмитриевич**

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
университет ИТМО»  
rogvlad91@gmail.com

**Харитонов Антон Юрьевич**

Кандидат технических наук, инженер,  
доцент практики, Федеральное государственное  
автономное образовательное учреждение высшего  
образования «Национальный исследовательский  
университет ИТМО»  
akharitonov@itmo.ru

*Аннотация.* В данной статье рассматривается проблематика тестирования масштабируемости систем мониторинга и управления сетевыми элементами. В качестве решения предлагается разработанная авторами платформа для тестирования на основе подхода инфраструктура как код. Программное обеспечение, предлагаемое автором, обладает лёгкостью и гибкостью конфигурации, а также позволяет существенно снизить необходимые ресурсы для тестирования.

*Ключевые слова:* система мониторинга и управления сетевыми элементами, тестирование масштабируемости, виртуальные машины, Ansible.

### Введение

Системы мониторинга и управления элементами сети [1, с. 129] играют ключевую роль в сетевой инфраструктуре, обеспечивая эффективное и надёжное управление разнообразными сетевыми устройствами. В современных телекоммуникационных и информационных сетях, где доступность, производительность и безопасность имеют первостепенное значение, системы управления сетевыми элементами становятся критической компонентой, обеспечивающей управление элементами сети и обеспечивающей их бесперебойную работу.

Тестирование масштабируемости — это вид нефункционального тестирования, направленного на проверку производительности системы, сети или компонента путём увеличения или уменьшения нагрузки на определенных уровнях. Масштабируемые тесты можно проводить на основе требований к аппаратным средствам, программному обеспечению или базам данных. Основ-

ная цель тестирования масштабируемости — убедиться, что система способна справиться с ожидаемым увеличением нагрузки и количества пользователей [2].

Сбои в работе системы управления сетевыми элементами могут привести к серьёзным последствиям, включая простой сети и потерю связи. Тестирование масштабируемости помогает выявить проблемы до их возникновения в реальной эксплуатации, что позволяет предотвратить сбои и обеспечить надёжную работу системы.

Для тестирования масштабируемости систем управления сетевыми элементами авторы проводят сравнительный анализ рынка программного обеспечения для тестирования масштабируемости.

### Требования к разрабатываемому программному обеспечению

Для тестирования масштабируемости системы управления сетевыми элементами программное обеспечение должно удовлетворять следующим требованиям:

1. поддержка специфических сетевых протоколов для системы управления сетевыми элементами, такие как NETCONF [3] — Network Configuration Protocol — и SSH [4] — Secure Shell;
2. универсальность конфигурации для множества пользователей и сетевых элементов.

Было рассмотрено различное программное обеспечение для тестирования масштабируемости для определения возможности использования. Результаты можно увидеть в Таблице 1.

Таблица 1.

Результат сравнительного анализа программного обеспечения для тестирования масштабируемости

Требования к ПО	Программное обеспечение			
	JMeter[5]	LoadRunner[6]	Gatling[7]	Locust[8]
Поддержка SSH и NETCONF	–	+	–	–
Универсальность в конфигурация при множестве пользователей и сетевых элементов	–	+	+	+
Открытый код	+	–	+	+
Стоимость лицензии	Бесплатно	Платно	Бесплатно	Бесплатно

Как можно видеть из таблицы, по всем техническим пунктам нам подходит лишь LoadRunner. Однако данное программное обеспечение является проприетарным и легально использовать его на данный момент в Российской Федерации не представляется возможным, вследствие чего автором данной статьи было разработано собственное программное обеспечение для тестирования масштабируемости.

Исходя из вышеперечисленного, схема разрабатываемого программного обеспечения и его взаимодействия с тестируемой системой управления сетевыми элементами должна быть примерно следующей (см. рис. 1), где присутствуют тестируемая система управления элементами, контейнеры с сетевыми элементами, представляющими нагрузку и симулирующими действия реального пользователя сети, которых в одном условном контейнере может быть от 1 до N, в тоже время контейнеров может быть от 1 до M, компонент управления элементами нагрузки — некий элемент, который управляет запуском и управлением жизненным циклом контейнеров сетевых элементов.

Подход для разработки платформы для тестирования масштабируемости EMS на основе рекурсивных виртуальных машин

Изначально авторами рассматривался подход с использованием виртуальной машины, однако у него имеется существенный недостаток, а именно — неоптималь-

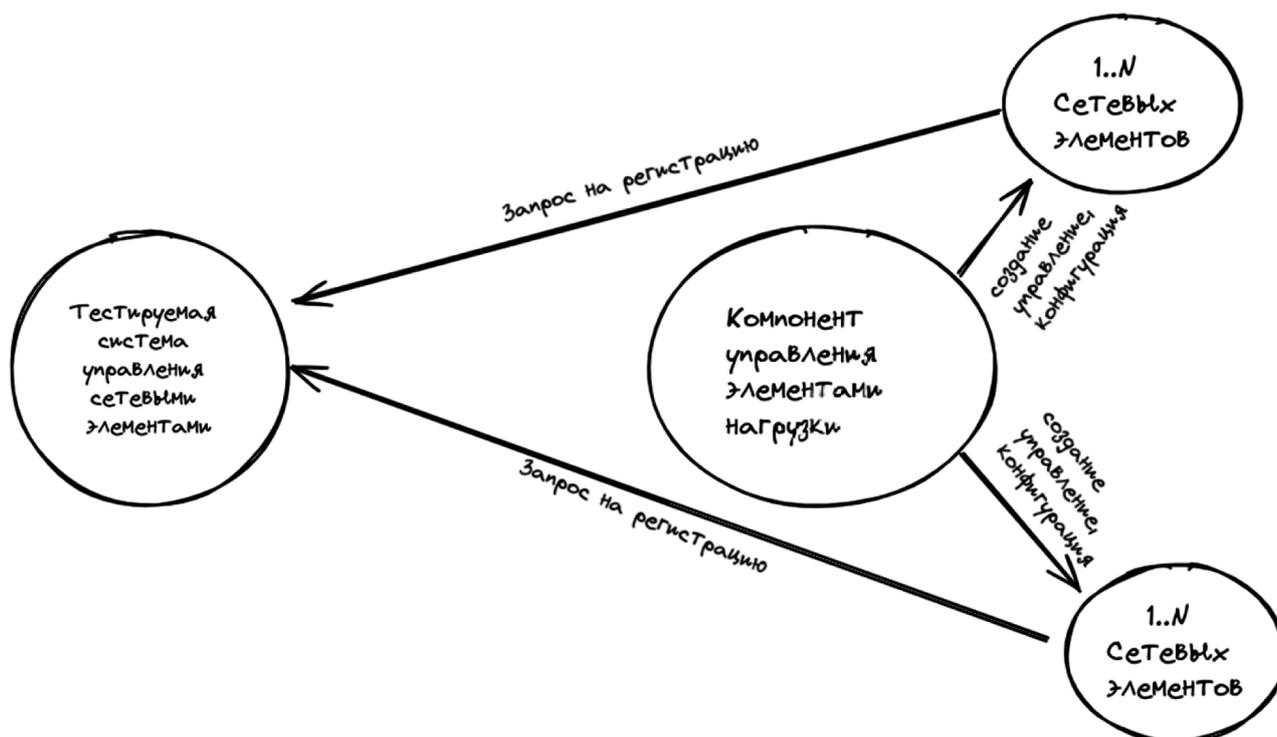


Рис. 1. Структура разрабатываемого автором статьи программного обеспечения с тестируемой системой управления сетевыми элементами

ное использования ресурсов — на одну виртуальную машину запускается один экземпляр симулятора сетевого элемента.

Данную проблему предлагается нивелировать путем применения рекурсивных виртуальных машин. Суть этого подхода, предлагаемого автором — внутри каждой виртуальной машины запускаются другие виртуальные машины, на которых и разворачиваются симуляторы сетевых элементов. Таких уровней рекурсии может быть несколько.

В таком случае схема программного обеспечения может выглядеть следующей (см. рис. 2).

В данном подходе управление и конфигурация виртуальных машин с элементами нагрузки осуществляется при помощи программного обеспечения по запуску и конфигурации виртуальных машин VirtualBox[9] или VMware [10]. Число симуляторов в таком случае будет зависеть от числа виртуальных машин и слоёв рекурсии. Однако данный подход не был применен автором статьи для разработки программного обеспечения вследствие следующих недостатков:

1. Ресурсоемкость:

Запуск множества виртуальных машин внутри других виртуальных машин приведет к серьезному потреблению ресурсов, таких как мощность процессора, память

и дисковое пространство, что снизит производительность и эффективность.

2. Отсутствие гибкости в конфигурации управляемыми ресурсами, такими как мощность процессора, память и дисковое пространство:

Вложенные виртуальные машины могут сталкиваться с низкой производительностью из-за эффекта «контейнеризации», когда ресурсы неэффективно распределяются между различными слоями виртуализации.

3. Отсутствие изоляции:

Использование рекурсивных виртуальных машин приводит к отсутствию изоляции между различными экземплярами, что недопустимо при тестировании сетевых элементов, особенно если требуется изолированное окружение.

Вследствие данных проблем использование рекурсивных виртуальных машин не является эффективной основой для программного обеспечения для тестирования масштабируемости.

**Подход для разработки платформы для тестирования масштабируемости EMS на основе Kubernetes**

Kubernetes [11] является программным обеспечением для создания и управления контейнерами. Схе-

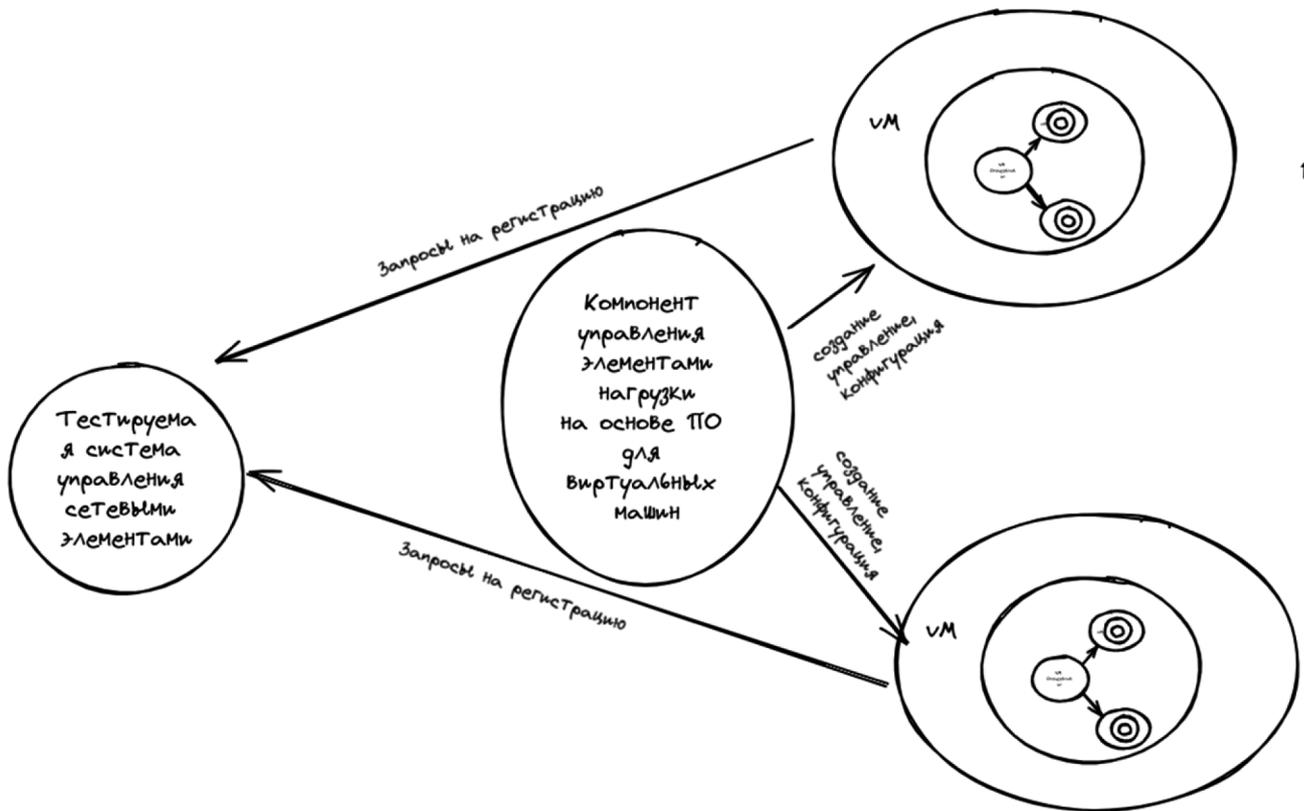


Рис. 2. Структура программного обеспечения с использованием рекурсивных виртуальных машин

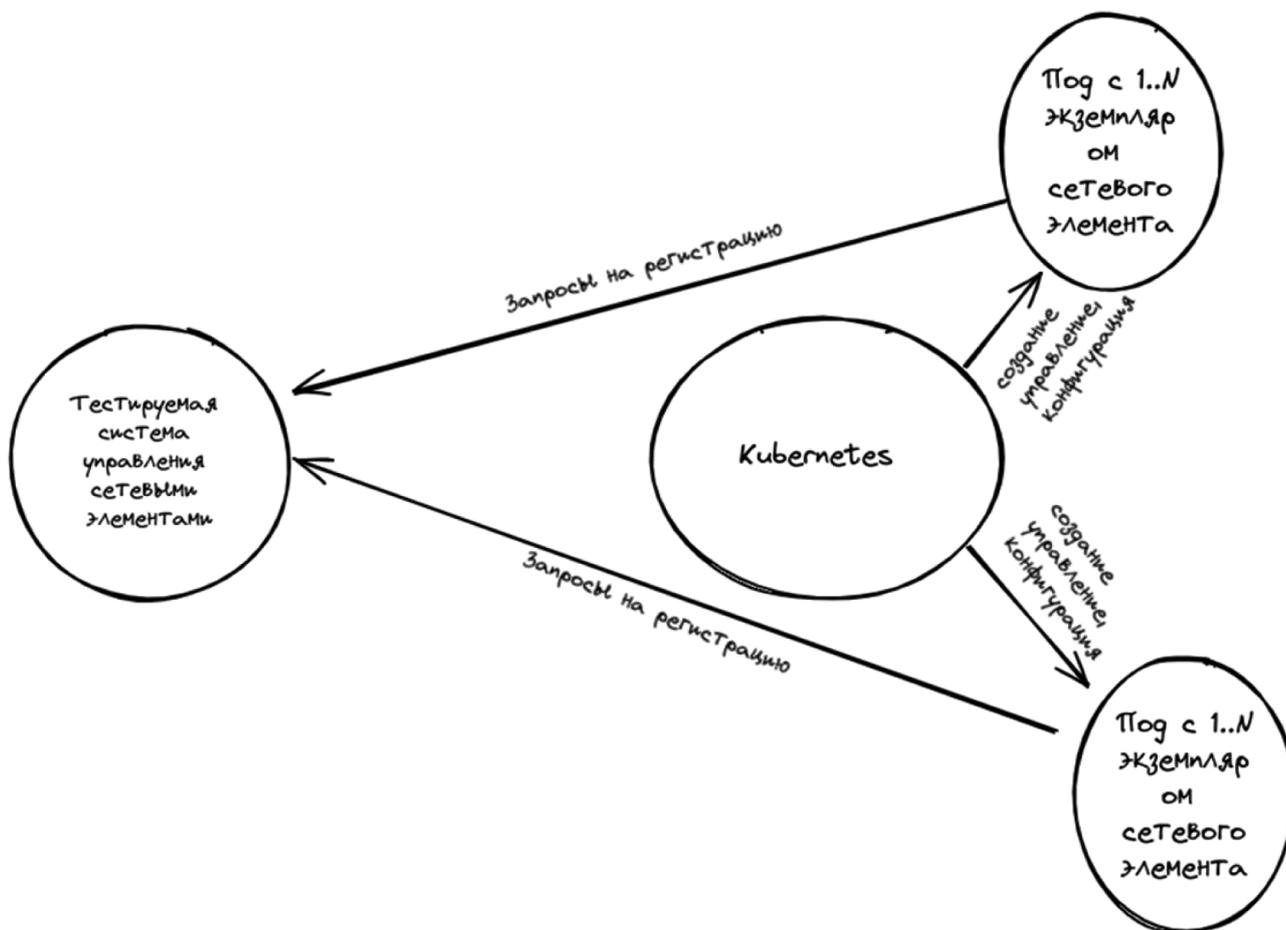


Рис. 3. Схема программного обеспечения с использованием Kubernetes

ма программного обеспечения на основе Kubernetes и docker-compose [12] представлена на рис. 3.

Автором предлагается следующий подход: на одном устройстве, разворачивается кластер Kubernetes. Внутри этого кластера будут разворачиваться поды (pods) — самая маленькая и базовая вычислительная единица, которую можно создать и управлять. Под представляет собой один экземпляр контейнера в кластере Kubernetes.

Программа на языке bash [13] будет создавать yaml deployment файлы с нужным количеством подов, задаваемым в конфигурационном файле, с помощью которых будут запускаться элементы нагрузки, разработанные автором данной статьи.

Элементы нагрузки будут иметь свой уникальный IP-адрес и уникальный идентификатор.

Следовательно, для запуска 100000 подобных элементов будет необходимо 100 подов, внутри которых будет развернуто 100 сервисов. Автором данной статьи было разработано собственное программное обеспечение для тестирования масштабируемости, поскольку

решение на основе Kubernetes обладает рядом недостатков:

1. Отсутствие изоляции между контейнерами внутри пода:

Если контейнер внутри пода перейдет в нерабочее состояние, например, из-за сбоя приложения, автоматический перезапуск будет применён ко всем контейнерам внутри этого пода. Это может привести к потере доступности не только одного, но и всех сервисов, работающих в этом поде.

2. Сложность изучения и лишние функции:

Для решения конкретной задачи по запуску множества инстансов сетевых элементов придётся столкнуться с лишней сложностью, представляемой Kubernetes для широкого спектра использования.

В связи с приведенными выше недостатками автором было принято решение не использовать данное программное обеспечение в качестве основы для разрабатываемой платформы по тестированию масштабируемости.

**Подход для разработки платформы для тестирования масштабируемости системы управления сетевыми элементами на основе подхода «Инфраструктура как Код»**

«Инфраструктуру как код» (Infrastructure as Code, IaC) [14, с. 159] можно охарактеризовать как автоматизацию создания инфраструктуры с помощью программ или же конфигурационных файлов.

Для решения на основе подхода IaC в данной работе использовался инструмент Ansible [15, с. 127].

С помощью Ansible сценария — описания состояния ресурсов системы, в котором она должна находиться в конкретный момент времени, включая установленные пакеты, запущенные службы, созданные файлы и многое другое — будет производиться запуск симуляций сетевых элементов на виртуальных машинах.

**Пример программы для тестирования масштабируемости**

Основой данного программного обеспечения будет являться Ansible сценарий, написанный авторами и частично изображённый на рисунке 4.

Данный текст сценария описывает следующее:

1. подготовку целевой виртуальной машины — установка необходимых зависимостей, добавление текущего пользователя в docker группу прав, установка docker-compose;
2. копирование приложения симулятора сетевого элемента;
3. исполнение Python программы по созданию docker-compose.yml файла с необходимым количеством сервисов, задаваемым в .env файле. На распечатке 1 изображена фрагмент текста файла данного файла:

Распечатка 1

```
«version»: «3»
«services»:
«image»: «golang:alpine»,
«build»:
«context»: «.»,
«dockerfile»: «Dockerfile»,
«container_name»: service_name,
«ports»: [f»{service_port}: {service_port}«],
«volumes»: [«. /:/app»]
```

4. запуск команды docker-compose up.

Python программа представляет собой создание docker-compose файла с шаблонным описанием необхо-

```
---
- hosts: target_vm
  become: true
  environment:
    NUM_SIMS: 5
  tasks:
    - name: Remove outdated Docker GPG key
      apt_key:
        id: 0EBFCD88
        state: absent
    - name: Add GPG key
      apt_key:
        url: https://download.docker.com/linux/ubuntu/gpg
        state: present
    - name: Update apt cache
      ansible.builtin.apt:
        update_cache: yes
        allow_unauthenticated: yes
    - name: Install aptitude
      apt:
        name: aptitude
        state: latest
        update_cache: true
    - name: Install required system packages
      apt:
        pkg:
          - apt-transport-https
          - ca-certificates
          - curl
          - software-properties-common
          - python3-pip
          - virtualenv
          - python3-setuptools
        state: latest
        update_cache: true
    - name: Add docker repository to apt
      apt_repository:
        repo: deb https://download.docker.com/linux/ubuntu focal stable
        state: present
    - name: Install docker Python library
      pip:
        name: docker
        version: 6.1.3
```

Рис. 4. Фрагмент текста программы, представляющей Ansible сценарий

димых сервисов — симуляций сетевых элементов. Данные сетевые элементы будут с помощью HTTP посылать запросы на хост-машину, где их будет принимать, считывать и записывать в текстовый файл симуляция EMS.

**Результаты**

В данной работе был разработано программное обеспечение для тестирования масштабируемости на основе подхода «Инфраструктура как код», а также собран демонстрационный стенд. Демонстрационный стенд включает в себя приложения-симуляторы сетевого элемента и EMS, написанные на языке Golang [16].

Также для развертывания необходимого числа сетевых элементов были сконфигурированы две виртуальные машины. После чего на каждой из виртуальных машин с помощью Ansible Playbook было запущено необходимое количество симуляторов сетевых элементов и продемонстрировано их взаимодействие с EMS, развернутой на хост-машине.

Для тестирования инструмента было развернуто две виртуальные машины с операционной системой Ubuntu

```

1 {"time": "2024-01-15T10:28:34.000227004+03:00", "level": "INFO", "msg": "Listening on", "port": 8080}
2 {"time": "2024-01-15T10:33:02.254042928+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:42846", "data": "Unique ID: 170530394"}
3 {"time": "2024-01-15T10:33:03.50844208+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:50156", "data": "Unique ID: 170530396"}
4 {"time": "2024-01-15T10:33:04.249422024+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:38832", "data": "Unique ID: 170530398"}
5 {"time": "2024-01-15T10:33:04.380735949+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:55026", "data": "Unique ID: 170530399"}
6 {"time": "2024-01-15T10:33:04.666395549+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:32846", "data": "Unique ID: 170530394"}
7 {"time": "2024-01-15T10:33:04.811040993+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:59278", "data": "Unique ID: 170530397"}
8 {"time": "2024-01-15T10:33:05.449616503+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.132:50302", "data": "Unique ID: 170530397"}
9 {"time": "2024-01-15T10:33:17.251527084+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:42846", "data": "Unique ID: 170530394"}
10 {"time": "2024-01-15T10:33:18.508423632+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:50156", "data": "Unique ID: 170530396"}
11 {"time": "2024-01-15T10:33:19.247832106+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:38832", "data": "Unique ID: 170530396"}
12 {"time": "2024-01-15T10:33:19.377385582+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:55026", "data": "Unique ID: 170530396"}
13 {"time": "2024-01-15T10:33:19.666256954+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:32846", "data": "Unique ID: 170530394"}
14 {"time": "2024-01-15T10:33:19.982289245+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:56062", "data": "Unique ID: 170530396"}
15 {"time": "2024-01-15T10:33:20.114487672+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:59800", "data": "Unique ID: 170530397"}
16 {"time": "2024-01-15T10:33:20.198440954+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:33830", "data": "Unique ID: 170530397"}
17 {"time": "2024-01-15T10:33:20.404467949+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.131:54494", "data": "Unique ID: 170530397"}
18 {"time": "2024-01-15T10:33:20.461006402+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.132:50302", "data": "Unique ID: 170530397"}
19 {"time": "2024-01-15T10:33:20.739455147+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.132:38706", "data": "Unique ID: 170530397"}
20 {"time": "2024-01-15T10:33:20.823025839+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.132:49906", "data": "Unique ID: 170530397"}
21 {"time": "2024-01-15T10:33:20.956866609+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.132:33156", "data": "Unique ID: 170530397"}
22 {"time": "2024-01-15T10:33:21.046797935+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.132:35284", "data": "Unique ID: 170530397"}
23 {"time": "2024-01-15T10:33:21.047074107+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.132:50038", "data": "Unique ID: 170530397"}
24 {"time": "2024-01-15T10:33:21.208987678+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.132:47704", "data": "Unique ID: 170530397"}
25 {"time": "2024-01-15T10:33:21.389283191+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.132:44818", "data": "Unique ID: 170530397"}
26 {"time": "2024-01-15T10:33:21.416264627+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.132:57890", "data": "Unique ID: 170530397"}
27 {"time": "2024-01-15T10:33:21.438593961+03:00", "level": "INFO", "msg": "Received connection from ", "addr": "192.168.241.132:37326", "data": "Unique ID: 170530397"}

```

Рис. 5. Логи о полученных запросах от сетевых элементов

22.04 [17]. На каждой из них было запущено по 10 симуляций сетевого элемента, соответственно количество уникальных запросов, зарегистрированных на хост-машине EMS должно быть 20. После запуска playbook на каждой из машин развернулось необходимое количество контейнеров с одним сетевым элементом в каждом.

На компьютере, с которого был запущен playbook, также появились логи от EMS, которые продемонстрированы на рис. 5.

Как можно видеть из логов, EMS регистрировала запросы с разных IP-адресов. Для того чтобы подсчитать количество уникальных адресов, напишем простую Python-программу, код которой продемонстрирован на рис. 6.

```

import json

def count_unique_ips(log_file_path):
    unique_ips = set()

    with open(log_file_path, 'r') as file:
        for line in file:
            log_entry = json.loads(line)
            if 'addr' in log_entry:
                unique_ips.add(log_entry['addr'])

    return len(unique_ips) - 1

log_file_path = 'logfile.txt'
unique_ips_count = count_unique_ips(log_file_path)
print(f"Количество уникальных IP-адресов: {unique_ips_count}")

```

Рис. 6. Текст программы по подсчёту уникальных IP-адресов

Эта программа открывает лог-файл, читает каждую строку как JSON, извлекает IP-адрес из поля 'addr' и под-

считывает уникальные IP-адреса с использованием множества. В конце выводится количество уникальных IP-адресов. На рис. 7 представлен результат выполнения программы.

```

Terminal x script x
/usr/bin/python3.10 /home/vrogov/dev/diploma/ems/script.py
Количество уникальных IP-адресов: 20

```

Рис. 7. Результат выполнения кода программы по подсчету уникальных IP-адресов

Как можно видеть, количество уникальных IP-адресов равно 20, что соответствует количеству запущенных симуляторов и виртуальных машин.

## Обсуждение

Предложенный подход для тестирования масштабируемости EMS является более предпочтительным и удобным, нежели рассмотренные существующие инструменты, однако также обладает рядом недостатков, среди которых можно выделить необходимость создания и конфигурации виртуальных машин вручную. Также отсутствие механизма управления и мониторинга контейнеров может сделать систему менее отказоустойчивой, так как не будет легко обнаруживать и восстанавливать сервисы в случае их сбоя.

## Заключение

Системы управления сетевыми элементами играют очень большую роль в построении инфраструктуры,

обеспечивая управление элементами, мониторинг, настройку и диагностику. Именно поэтому важно осуществлять тестирование масштабируемости для систем управления сетевыми элементами. Это поможет понять пределы возможностей системы, её точки отказа и слабые места.

В данной работе был проведен краткий сравнительный анализ существующего программного обеспечения для тестирования масштабируемости. В результате выяснилось, что для поставленной задачи можно применить LoadRunner, но его проприетарная природа и платное распространение являются преградой для этого.

В процессе поиска основы для инструмента для тестирования были рассмотрены рекурсивные виртуальные машины и программного обеспечения Kubernetes. Однако рекурсивные виртуальные машины являются слишком сложными в конфигурации и не оптимизиро-

ванными в плане ресурсоемкости, а Kubernetes сложен в изучении и погружении, а также требует платных кластеров.

В результате было выбрано решение на основе подхода IaC и Ansible. Был собран демонстрационный стенд из хост-машины и двух виртуальных машин, на которых с помощью Ansible Playbook поставлялось необходимое ПО и запускались симуляции сетевого элемента.

Данные симуляции совершали запросы к запущенной на хост-машине EMS.

Разработанное решение легко масштабируется путем добавления новых виртуальных машин, запуска большего числа сетевых элементов. Благодаря возможностям Ansible, разработанное программное обеспечение можно будет адаптировать под специфику EMS, что будет продемонстрировано в дальнейшей работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kim D.W., & Kim J.S. (2003). Element management systems for telecom networks. *IEEE Communications Magazine*, 41(12), 122–130.
2. Myers G.J., Sandler C., Badgett T. *The art of software testing*. — John Wiley & Sons, 2011.
3. Network Configuration Protocol (NETCONF). [Официальный сайт]. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6241> (дата обращения: 10.03.2024).
4. The Secure Shell (SSH) Transport Layer Protocol. [Официальный сайт]. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4253> (дата обращения: 10.03.2024).
5. V. Tiwari, S. Upadhyay, J.K. Goswami and S. Agrawal, «Analytical Evaluation of Web Performance Testing Tools: Apache JMeter and SoapUI,» 2023 IEEE 12th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT), Bhopal, India, 2023, pp. 519–523, doi: 10.1109/CSNT57126.2023.10134699.
6. R. Abbas, Z. Sultan, and S.N. Bhatti, «Comparative analysis of automated load testing tools: Apache JMeter, Microsoft Visual Studio (TFS), LoadRunner, Siege,» 2017 International Conference on Communication Technologies (ComTech), Rawalpindi, Pakistan, 2017, pp. 39–44, doi: 10.1109/COMTECH.2017.8065747.
7. Gatling. [Официальный сайт]. URL: <https://gatling.io> (дата обращения: 10.03.2024).
8. Locust. [Официальный сайт]. URL: <https://locust.io/> (дата обращения: 10.03.2024).
9. VirtualBox. [Официальный сайт]. URL: <https://www.virtualbox.org/> (дата обращения: 10.03.2024).
10. VMware. [Официальный сайт]. URL: <https://www.vmware.com/> (дата обращения: 10.03.2024).
11. Kubernetes. [Официальный сайт]. URL: <https://kubernetes.io/> (дата обращения: 10.03.2024).
12. Docker Compose overview. [Официальный сайт]. URL: <https://docs.docker.com/compose/> (дата обращения: 10.03.2024).
13. Bash Reference Manual. [Официальный сайт]. URL: <https://www.gnu.org/software/bash/manual/bash.html> (дата обращения: 10.03.2024).
14. Artac M. et al. Infrastructure-as-code for data-intensive architectures: a model-driven development approach //2018 IEEE international conference on software architecture (ICSA). — IEEE, 2018. — С. 156–15609.
15. Mallett A., Mallett A. Managing services using ansible //Red Hat Certified Engineer (RHCE) Study Guide: Ansible Automation for the Red Hat Enterprise Linux 8 Exam (EX294). — 2021. — С. 123–133.
16. The Go Programming Language [Официальный сайт]. URL: <https://go.dev/> (дата обращения: 10.03.2024).
17. Canonical Ubuntu. [Официальный сайт]. URL: <https://ubuntu.com/> (дата обращения: 10.03.2024).

# СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОШИБОК В ОБУЧАЮЩИХ ДАННЫХ ДЛЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Тарасов Вячеслав Сергеевич**

Аспирант, Российский технологический университет,  
Московский государственный технический  
университет радиотехники,  
электроники и автоматики  
slavatarasov207@gmail.com

## REDUCING THE IMPACT OF TRAINING DATA ERRORS ON TRAINING OF NEURAL NETWORKS IN MEDICAL EDUCATION

**V. Tarasov**

*Summary.* Artificial intelligence systems are actively being introduced into medical education. However, the reliability of AI systems depends on the quality of training data, which can be contaminated with various types of errors. These errors can lead to incorrect training results and have a negative impact on the quality of training and even on the health of patients. The main goal is to study the impact of various types of errors in training data on the training of neural networks used in medical education and to develop methods for eliminating their negative impact based on existing methods and algorithms. This article applies the following methods: classification of error types in training data, analysis of existing algorithms for reducing noise in training data and identification of their limitations with respect to intentional errors, modeling of neural network training and development and application of an improved EM (Expectation-Maximization) algorithm that takes into account the time it takes students to solve problems for a more accurate estimate of the noise distribution in labels. The experiments demonstrate a significant increase in the accuracy of neural network training when using the improved EM algorithm compared to the traditional approach.

*Keywords:* noise labels, training accuracy, problem solving time, adaptive optimization, feature vector, EM algorithm.

*Аннотация.* Системы искусственного интеллекта активно внедряются в медицинское образование. Однако, надежность ИИ-систем зависит от качества обучающих данных, которые могут быть зашумлены различными типами ошибок. Эти ошибки могут приводить к неверным результатам обучения и оказывать отрицательное влияние на качество обучения и даже на здоровье пациентов. Основной целью является исследование влияние различных ошибок в обучающих данных на нейронные сети, применяемых в медицинском образовании, и разработка методов устранения их негативного влияния на основе существующих методов и алгоритмов. В данной статье применяются методы: классификации типов ошибок в обучающих данных, анализ существующих алгоритмов для снижения шума в обучающих данных и выявление их ограничений в отношении преднамеренных ошибок, моделирование обучения нейронной сети и разработка и применение усовершенствованного алгоритма EM (Expectation-Maximization), учитывающего время решения задач обучающимися для улучшенной точности оценки распределения шума в метках. Проведенные эксперименты демонстрируют значительное увеличение точности обучения нейронной сети при использовании усовершенствованного алгоритма EM по сравнению с традиционным подходом.

*Ключевые слова:* шумовые метки, точность обучения, время решения задач, адаптивная оптимизация, Вектор признаков, алгоритм EM.

### Введение

В области медицинского образования системы искусственного интеллекта (ИИ-системы) используются для сегментации и классификации деятельности обучающихся в системе массовых открытых онлайн курсов (МООК). В результате начинающейся всеобщей зависимости от ИИ-систем важно они были надежны и на них не влияли сторонние факторы, которые могут привести к ошибке во входных наборах данных и могут серьезно повлиять на пользователей и в дальнейшем, при не качественном обучении при помощи нейронной сети и на пациентов.

В данной работе исследуется влияние и снижение чувствительности к ошибкам обучающих наборов данных при работе с ИИ-системами, а также методы снижения последствия данных ошибок на обучение ИИ. Такое

исследование выполняется путем моделирования обучения с применением улучшенного способа отсеивания шума в используемом наборе данных в соответствии с различными значениями, а затем измерения точности системы искусственного интеллекта. В ходе проведенной работы затрагивается вопрос насколько эффективно можно отформатировать данные для этапа обучения.

Цели работы — исследовать эффективность применения улучшенного способа отсеивания шума в наборе данных для искусственного интеллекта, продемонстрировать влияние ошибок обучения на точность нейронной сети.

### Описание типов ошибок и их связь с этическими проблемами

Ошибки можно подразделить на различные типы в системах обучающих данных для ИИ. В категории

входят ошибок обучения и ошибок логического вывода. Категории ошибок обучения относятся следующие: (1) невинные / случайные ошибки, (2) преднамеренные ошибки, (3) ошибки типа пропусков и (4) ошибки данных. К случайным ошибкам можно отнести непреднамеренно, например, сделанные человеком, неправильно маркирующим некоторые изображения в тесте, или неправильно помечающим некоторые элементы заданий в обучающем наборе данных. Этот тип ошибок может возникать неизбежно.

Под преднамеренными ошибками можно понимать, намеренно вносимые неправильные ответы, например в тестированиях, такие как повреждение и контаминация данных или преднамеренная неправильная маркировка или вставка неверных, неточных, ненадежных или предвзятых данных, которые могут повлиять на систему искусственного интеллекта, например работать некорректно или иным образом повлиять на результат работы системы искусственного интеллекта по любой причине. Такие преднамеренные ошибки могут способствовать в качестве облегчения обучения для недобросовестных студентов при недобросовестном использовании обучающей системы в которой применяется нейронная сеть, при этом учащийся стремится оставаться в результате тестирования на одном уровне, а не решать сложные задачи. Такие ошибки могут так же возникать в результате скрытого замысла или по различным другим причинам. Вводя такие преднамеренные ошибки, обучающийся может изменить результат работы системы искусственного интеллекта для получения результатов, соответствующих его намерениям.

Ожидается, что после такой неверной маркировки и последующего обучения система искусственного интеллекта на этапе вывода выдаст результаты, которые не смогут предоставить правильный подход к обучению в зависимости от остаточных знаний обучающегося, параметр оценки остаточных знаний не интересующихся обучением студентов может совпасть с людьми, полагающимися на такие результаты, они будут с меньшей эффективностью изучать предоставляемый им обучающий материал [22].

В другом, гипотетическом примере, обучающийся может намеренно вводить ошибки, чтобы вызвать неправильное обучение системы искусственного интеллекта. В таком сценарии, предполагая, что злоумышленник имеет доступ к обучающим данным системы искусственного интеллекта ведь нейронная сеть учится на результатах прошедших ранее обучающихся. Затем обучающийся может снова обучить систему искусственного интеллекта, чтобы подготовить ее к выполнению вывода, который, как ожидается, приведет к результатам, отклоняющим запросы на верный обучающий материал, например показать 100 % знания по всем темам,

не изучаемым его курсом или направлением при переподготовке. По мере того, как системы искусственного интеллекта становятся все более повсеместными и на их результаты, со временем, будет полагаться все больше людей, ожидается, что опасность преднамеренных ошибок возрастет.

Ошибки типа пропусков могут возникать по различным причинам, включая, например, отсутствие достаточного разнообразия обучающих данных, небрежность, недостаточную осведомленность и игнорирование сбоя системы искусственного интеллекта [14].

Что касается ошибок в данных, следует относиться к ним, как к ошибкам, которые могут быть обнаружены в обучающем наборе данных, которые являются результатом как шум или нестабильности систем глубокого обучения в отношении реконструкции / классификации задач [23].

Некоторые из вышеупомянутых ошибок могут принимать одну или несколько форм. Например, преднамеренная ошибка может быть ошибкой, вызванной вредоносным патчем, или ошибкой, вызванной неправильной маркировкой, и так далее.

Следует отметить, что каждый из вышеупомянутых ошибок обучения и ошибок вывода не обязательно являются исчерпывающими, также могут возникать другие типы ошибок.

#### Анализ алгоритмов для снижения шума в обучающем наборе данных

Зашумленные обучающие данные и, в частности, ошибки маркировки были предметом многих исследований. Бродли и Фридл используют набор алгоритмов обучения для создания классификаторов, которые служат в качестве фильтров шума. Исследователи оценивают единый алгоритм, способы фильтрации голосования большинством голосов и консенсуса и показывают, что фильтрация значительно повышает точность классификации по уровням шума до 30%. [6]

Беккер и Голдбергер предлагают алгоритм обучения нейронных сетей, основанный исключительно на зашумленных данных. Они вводят дополнительный слой шума, предполагая, что наблюдаемые метки создаются из истинных меток путем прохождения через зашумленный канал, и показывают, что они могут изучать распределение шума из зашумленных данных без использования каких-либо чистых данных. Голдбергер и Бен-Рувен моделируют шум с помощью дополнительного слоя softmax, который соединяет правильные метки с зашумленными. [6]

Дгани, Гринспен и Голдбергерт используют зашумленный канал в своей стратегии обучения нейронных сетей, которая основана на ненадежных комментариях человека.

Гуан и др. представляют подход к идентификации и устранению неправильно помеченных обучающих экземпляров путем использования размеченных экземпляров для облегчения обнаружения неправильно помеченных обучающих экземпляров, и Хошгофтаар и др.

Упомянутые выше работы имеют дело с зашумленными данными, которые обычно связаны с процессом сбора данных. Как таковые, работы, вероятно, могут подходить для типа ошибок обучения, которые называем ошибками данных, но не обязательно для намеренно сделанных ошибок категории ошибок обучения, которые, как ожидается, не будут смоделированы как шум.

Кроме того, в отношении дисбаланса классов, когда он создается намеренно, то есть когда он является частью преднамеренных ошибок, недобросовестный пользователь может решить усилить дисбаланс классов или изменить важные примеры классов, которые составляют основу для пере дискретизации и занижения дискретизации, чтобы увеличить количество ошибок в экземплярах данных, и, следовательно, такой дисбаланс классов не может рассматриваться методами например пересэмплирования или недосэмплирования выборки данных как дисбаланс классов в собранных данных.

Кроме того, также можно предположить, что в отношении намеренно допущенных ошибок злоумышленник может вставить их после того, как фильтры и другие алгоритмы, предназначенные для повышения точности классификации и баланса классов, уже были использованы. Соответственно, упомянутые выше работы не решают этических и функциональных проблем, связанных с некоторыми типами ошибок обучения, и необходимы дальнейшие действия, процедуры и инструменты, чтобы помочь справиться с такими этическими и функциональными проблемами.

**Анализ алгоритма «Expectation-Maximization» для обучения нейронной сети с шумовыми метками**

Так для избавления от шума в виде ошибок для приближения нейронной сети к полноценной работе можно использовать способ из работы Беккер, Дж., Голдбергер. Этот подход основан на обучении нейронной сети, использовавшим исключительно зашумленные данные, что является интересным и перспективным решением для ситуаций, когда доступ к чистым данным ограничен. [6]

Для обучения мульти классовых нейросетевых мягкой классификации  $p(y = i|x; w)$ , где  $x$  — вектор призна-

ков, а  $w$  — набор параметров сети и  $i$  является членом множества классов  $\{1, \dots, k\}$ . Также можно предположить, что в процессе обучения не можем напрямую наблюдать правильную метку  $y$ . Вместо этого у есть доступ только к ее зашумленной версии, обозначенной  $z$ . В подходе генерация шума моделируется параметром  $\theta(i, j) = p(z = j|y = i)$  [6]. Распределение шума неизвестно, и хотим изучить его как часть фазы обучения. Вероятность наблюдения зашумленной метки  $z$  при заданном векторе признаков  $x$  равна:

$$p(z = j | x; w, \theta) = \sum_{i=1}^k p(z = j | y = i; \theta) p(y = i | x; w)$$

где  $k$  — количество классов. Модель проиллюстрирована на рис. 1.

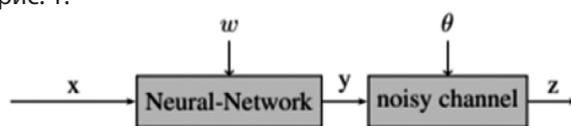


Рис. 1. Модель зашумленной метки z

Предположим, что классификатор нейронной сети, который используются, основан на нелинейных промежуточных слоях, за которыми следует выходной слой softmax, используемый для мягкой классификации. Обозначим нелинейную функцию, применяемую к входу  $x$ , как  $h = h(x)$ , а обозначим слой softmax как:

$$p(y = i | x; w) = \frac{\exp(u_i^T h)}{\sum_{j=1}^k \exp(u_j^T h)}$$

$u_1, \dots, u_k$  являются параметрами мягкого максимума, которые являются подмножеством всего набора параметров сети  $w$ .

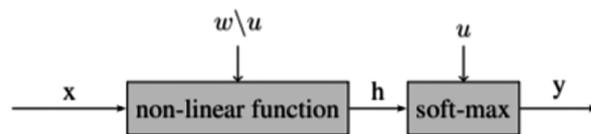


Рис. 2. Модель нелинейной функции

На этапе обучения даны  $n$  векторов признаков  $x_1, \dots, x_n$  с соответствующими ненадежными метками  $z_1, \dots, z_n$  которые рассматриваются как шумовые версии правильных скрытых меток  $y_1, \dots, y_n$ . Логарифмическое правдоподобие параметров модели равно:

$$L(\omega, \theta) = \sum_{t=1}^n \log(\sum_{i=1}^k p(z_t | y_t = i; \theta) p(y_t = i | x_t; \omega))$$

Цель шага E состоит в том, чтобы на основе данных обучения найти как распределение шума  $\theta$ , так и параметры нейронной сети  $w$ , которые максимизируют функцию правдоподобия. Поскольку случайные величины  $y_1, \dots, y_n$  скрыты, применяем алгоритм «Expectation-Maximization» далее (EM) для поиска набора параметров максимального правдоподобия.

Применение алгоритма нейронной сети с шумовыми метками позволит получить чистый результат в подстраивании при обучении нейронной сети, которая поможет в обучении.

Вход: Точки данных  $x, \dots, x_n \in R^d$  с соответствующими шумными метками  $z, \dots, z_n \in \{1, \dots, k\}$ .

Выход: Параметры нейронной сети  $w$  и шумовые параметры  $\theta$ . Алгоритм EM выполняет итерации между двумя шагами:

Шаг E: Оценка истинных меток на основе текущих значений параметров:

$$C_{ti} = p(y_t = i | x_t, z_t; \omega, \theta)$$

M-шаг: обновление параметра шума  $\theta$ :

$$\theta(i, j) = \frac{\sum_t C_{ti} 1_{\{z_t=j\}}}{\sum_t C_{ti}}$$

и обучить NN для нахождения  $w$ , которые максимизируют следующую функцию:

$$L(\omega) = \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^k C_{ti} \log p(y_t = i | x_t; \omega)$$

Конечно, нет необходимости полностью обучать модель NN на каждой итерации EM. Например, можно использовать стандартные методы для обучения нейронной сети и обновлять параметр шума  $\theta$  после нескольких проходов по обучающему набору. Алгоритм EM является жадной процедурой оптимизации и, чувствителен к начальной точке. Следовательно, хорошая инициализация параметров модели важна для достижения хороших результатов.

### Повышение точности обучения нейронной сети путем усовершенствования алгоритма EM

Основной алгоритм EM для оценки распределения шума в метках обучающих данных опирается на вероятность принадлежности точки данных к каждому классу. Однако, дополнительная информация о времени, затраченном на выполнение задачи, может помочь улучшить оценку шума. Точная оценка параметра шума  $\theta(i, j)$  способствует правильному обучению нейронной сети, которая будет лучше учитывать фактор шума в обучающих данных. Стандартные отклонения  $\sigma_j$  необходимо оценивать на основе исторических данных о решении задач, вследствие чего изначальные данные должны быть достоверны. Этот подход предполагает наличие данных о времени решения задач обучающимся. В знаменателе — это взвешенная сумма вероятностей  $C_{ti}$ . Веса  $\exp(- (t_i - t_j)^2 / (2\sigma_j^2))$  определяются временем решения: чем ближе время решения к среднему времени реше-

ния для  $j$ -го класса, тем больше вес. В числителе — то же самое, но умноженное на индикаторную функцию  $1_{\{z_t=j\}}$ . Таким образом, учитывается, что ошибки, сделанные за время, близкое к среднему времени решения для  $j$ -го класса, с большей вероятностью могут быть случайными. Так применение такого метода отражено в следующей функции:

$$\theta(i, j) = \frac{\sum_t C_{ti} 1_{\{z_t=j\}} \exp(-((t_i - t_j)^2 / 2\sigma_j^2))}{\sum_t C_{ti} \exp(-((t_i - t_j)^2 / 2\sigma_j^2))}$$

$t_j$  — среднее время решения задач для  $j$ -го класса.

$\sigma_j$  — стандартное отклонение времени решения задач для  $j$ -го класса.

Преимуществом представленного выше метода может быть точная оценка шума в метках. Эта формула учитывает дополнительную информацию о времени решения, что позволяет точно оценивать вероятность шума в метках. Следует учитывать, что стандартные отклонения  $\sigma_j$  необходимо оценивать на основе исторических данных о решении задач. Точная оценка параметра шума может повысить качество обучения нейронной сети, так как модель будет лучше учитывать фактор шума в данных.

### Эксперимент

В этом разделе оцениваем надежность глубокого обучения к обучающим данным с шумными метками с явным моделированием шума и без него. В наших экспериментах использовали два набора данных с введенным шумом меток. В базу данных входят следующие значения, где  $x_1$  — это общее количество времени, проведенное в системе,  $x_2$  — клики по конспекту лекции,  $x_3$  — оценка за задание по конспекту лекции,  $x_4$  — оценка за проверочный тест по теме «Введение. МЧС»,  $x_5$  — клики по заданиям лабораторной работы № 1,  $x_6$  — клики по заданиям лабораторной работы № 1,  $x_7$  — клики по конспекту лекции по теме «Методы эвакуации МЧС»,  $x_8$  — оценка за задание по конспекту лекции по теме «Введение»,  $x_9$  — оценка за проверочный тест по теме «Введение»,  $x_{10}$  — клики по заданиям лабораторной работы № 2,  $x_{11}$  — клики по конспекту лекции «Базовые операции»,  $A$  — средний бал за тестирование.

При проведении обучения нейронной сети без предварительной подготовки входных данных предполагаемых обучающихся с показателями, которые указаны выше, получаем точности в зависимости от эпох на рисунке 1.

Так переходя к использованию EM-алгоритма код, реализует для оценки распределения шума в метках. Идет расчёт вероятность принадлежности каждой точки дан-

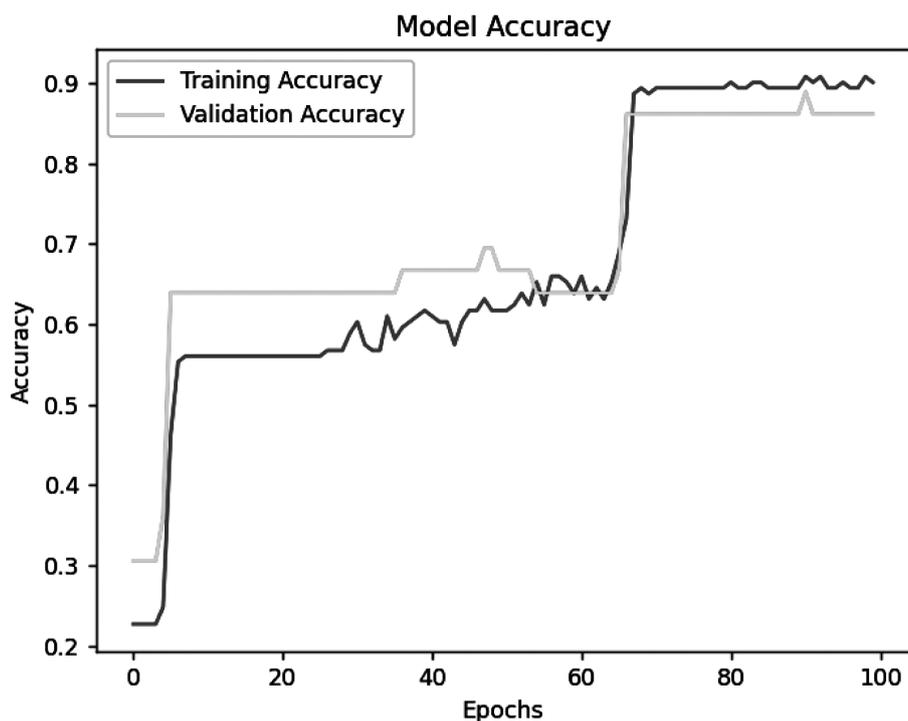


Рис. 3. Точность обучения нейронной сети при первоначальных данных

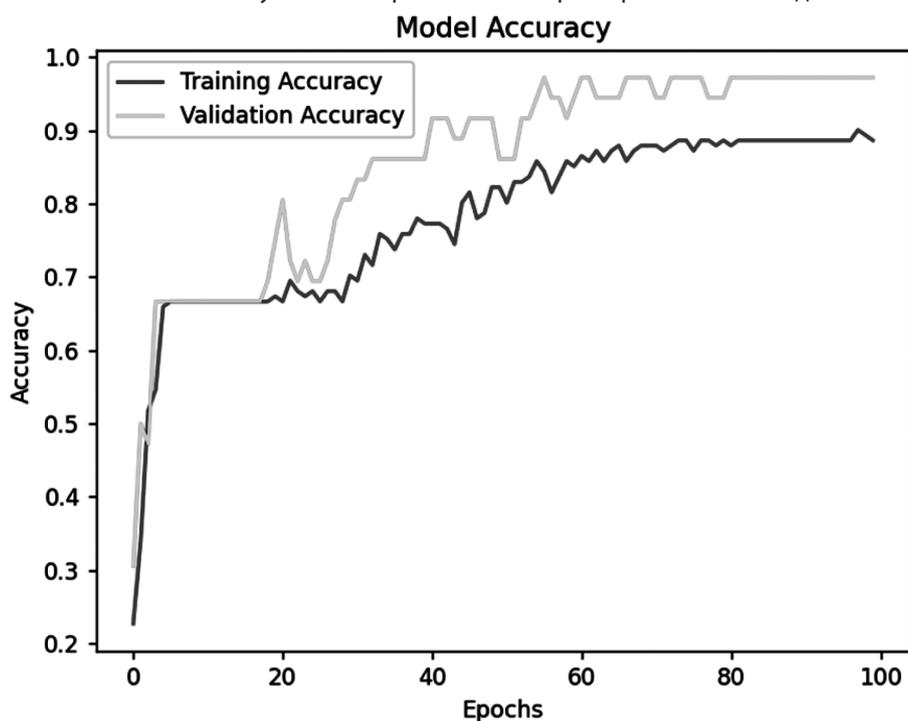


Рис. 4. Точность обучения нейронной сети при первоначальных данных

ных к каждому из классов, учитывая текущие параметры модели. Обновляются параметры шума (матрица  $\theta$ ) на основе вычисленных вероятностей.

Если применить алгоритм EM к нейронной сети оценки остаточных знаний, которая использовалась ранее, видим, что точность обучения повышается значительно и плавно при обучении в 100 эпох. Это говорит о том,

что алгоритм EM способен эффективно справляться с шумом в данных, присутствующем в результатах обучения нейронной сети, которая оценивает остаточные знания обучающихся. Важно отметить, что применение алгоритма EM приводит к стабильному и предсказуемому росту точности обучения продемонстрированное на рисунке 4.

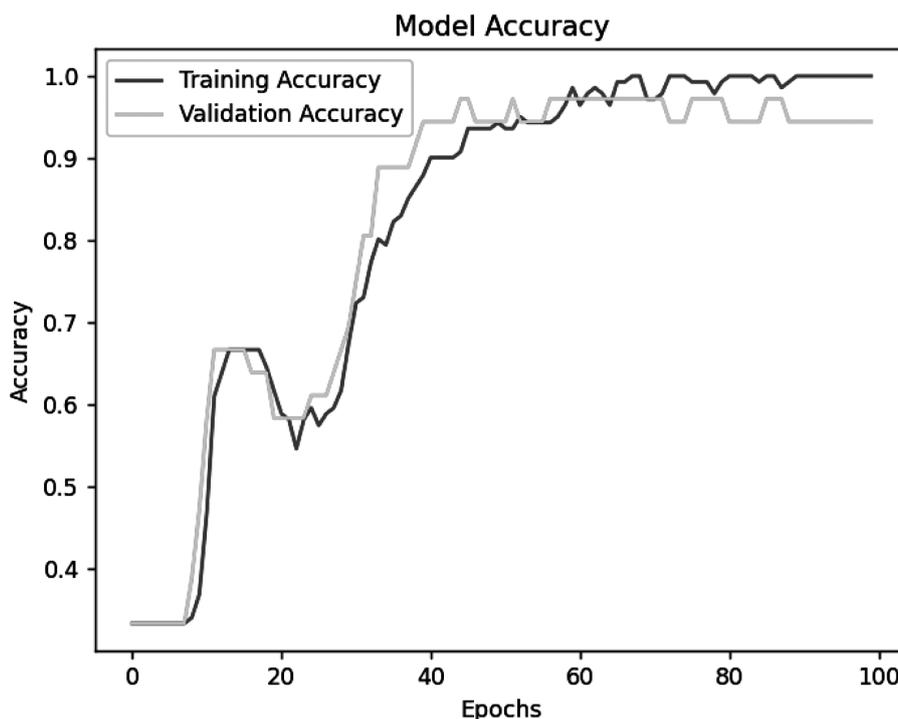


Рис. 5. Точность обучения нейронной сети при использовании улучшенного алгоритма EM

Это улучшение достигается за счет того, что алгоритм EM учитывает вероятность принадлежности каждой точки данных к каждому из классов, учитывая текущие параметры модели и корректирует параметры шума на основе вычисленных вероятностей. Таким образом, алгоритм EM позволяет нейронной сети точно учитывать шум в данных, что приводит к точным результатам оценки остаточных знаний обучающихся.

При использовании в ходе эксперимента улучшенный алгоритм можем наблюдать на рисунке 3 что точность обучения нейронной сети значительно повышается по сравнению с использованием традиционного алгоритма EM. Рисунок 3 демонстрирует плавный и устойчивый рост точности обучения в течение 100 эпох, что свидетельствует о эффективном и надежном обучении нейронной сети при учете времени решения задач обучающимися.

Так с применением обновлённого алгоритма процесс и точность обучения поднимается гораздо выше при использовании входных данных, которые были использованы прежде, но уже с отсеиванием ненадежных параметров особенно, учитывая время выполнения обучающимся работы. Так применение нового алгоритма способствует в дальнейшем производить лучшие оценочные данные нежели с использованием старых параметров.

#### Заключение

При изучении существующих алгоритмов для снижения шума в обучающих данных был выбран один наиболее подходящий для улучшения и использования с нейронной сетью по оценке остаточных знаний для снижения зашумленности данных при обучении ИИ. В качестве решения предлагается новый подход, основанный на алгоритме EM, который позволяет оценивать распределение шума в метках и корректировать обучение нейронной сети. Эксперименты показали, что применение модифицированного алгоритма EM значительно повышает точность обучения нейронной сети по сравнению с использованием исходных данных.

Ошибки в обучающих данных представляют серьезную угрозу для надежности ИИ-систем, особенно в медицинской сфере. Существующие методы борьбы с шумом не всегда эффективны для устранения преднамеренных ошибок, так как в ходе данной работы и эксперимента существующие алгоритмы обладают потенциалом к улучшению своих показателей. Предложенные улучшения алгоритма EM является перспективным решением для повышения устойчивости ИИ-систем к ошибкам обучения вызванными невинными действиями, случайными ошибками или иными действиями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Frenay and A. Kaban. A comprehensive introduction to label noise. In *European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning (ESANN)*, 2014.
2. G.E. Hinton, O. Vinyals, and J. Dean. Distilling the knowledge in a neural network. In *NIPS Deep Learning and Representation Learning Workshop*, 2014.
3. D. Kingma and J. Ba. Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv preprint arXiv:1412.6980*, 2014.
4. S. Reed, H. Lee, D. Anguelov, C. Szegedy, D. Erhan, and A. Rabinovich. Training deep neural networks on noisy labels with bootstrapping. In *arXiv preprint arXiv:1412.6596*, 2014.
5. S. Sukhbaatar and R. Fergus. Learning from noisy labels with deep neural networks. In *arXiv preprint arXiv:1406.2080*, 2014.
6. Bekker and J. Goldberger. Training deep neural networks based on unreliable labels. In *IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 2682–2686, 2016.
7. Brady A.P.: Error and discrepancy in radiology: inevitable or avoidable? *Insights Imaging* 8, 171–182 (2017)
8. E. Beigman and B.B. Klebanov. Learning with annotation noise. In *ACL-IJCNLP, 2009*. 8 Published as a conference paper at ICLR 2017
9. Mintz Y., Brodie R.: Introduction to artificial intelligence in medicine. *Min. Inv. Ther. All. Tech.* 28, 2–73 (2019)
10. Bredt S.: Artificial Intelligence (AI) in the financial sector—Potential and public strategies. *Front. AI*, 2, 3 (2019)
11. Kirtan J., Aalap D., Poojan P., Manan S.: A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *AI. Agr.* 2, 1–2 (2019)
12. Finlayson S.G., Bowers J.D., Ito J., Zitrain J.L., Beam A.L., Kohane I.S.: Adversarial attacks on medical machine learning. *Science* 1, 1287–1289 (2019)
13. Challen R., Denny J., Pitt M., et al.: Artificial intelligence, bias and clinical safety. *BMJ Qual. Saf.* 28, 231–237 (2019)
14. Geis J.R., Brady A.P., Wu C.C., et al.: Ethics of artificial intelligence in radiology: summary of the joint European and North American Multisociety Statement. *Radiology* 293(2), 436–440 (2019)
15. Zannettou S., Baumgartner J., Finkelstein J., Goldenberg A.: Weaponized information outbreak: a case study on COVID-19. *Bioweapon Myths and the Asian Conspiracy Meme* (2019)
16. Kaissis G.A., Makowski M.R., Rückert D., et al.: Secure, privacy-preserving, and federated machine learning in medical imaging. *Nat. Mach. Intell.* 2, 305–311 (2020)
17. Qayyum A., Qadir J., Bilal M., Al-Fuqaha A.: Secure and robust machine learning for healthcare: a survey. Preprint at <https://arxiv.org/abs/2001.08103> (2020)
18. Strickland E.: Healthcare algorithms show racial bias. *IEEE Spect.* 8, 6–7 (2020)
19. D'Antonoli T.A.: The ethical considerations for artificial intelligence: an overview of the current radiology landscape. *Diagn. Interv. Radiol.* 26, 504–511 (2020)
20. Larrazabal A.J., Nieto N., Peterson V., Milone D.H., Ferrante E.: Gender imbalance in medical imaging datasets produces biased classifiers for computer-aided diagnosis. *PNAS* 117(23), 12592–12594 (2020)
21. Castelvichi D.: Is facial recognition too biased to be let loose? *Nature* 587, 347–349 (2020)
22. Antun V., Renna F., Poon C., Adcock B., Hansen A.C.: On instabilities of deep learning in image reconstruction and the potential costs of AI. *Proc. Nat. Aca. Sci.* 117(48), 30088–30095 (2020)
23. Hutson M.: It's too easy to hide bias in deep-learning systems. *IEEE Spect.* 1, 2–19 (2021)

---

© Тарасов Вячеслав Сергеевич (slavatarasov207@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОБЗОР КИБЕРУГРОЗ ДЛЯ «УМНЫХ ДОМОВ» И «УМНЫХ ГОРОДОВ»: СИСТЕМНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ

## OVERVIEW OF CYBER THREATS TO SMART HOMES AND SMART CITIES: SYSTEMATIC CLASSIFICATION AND TREND ANALYSIS

**S. Fedorov**  
**D. Drilenko**  
**A. Drilenko**

*Summary.* In recent years, smart home and smart city solutions based on the Internet of Things, computer vision, and artificial intelligence have been rapidly evolving. The massive connectivity and lack of unified cybersecurity standards lead to an expanded attack surface and the emergence of new vulnerabilities. Cybercriminals exploit default configurations and insufficient network segmentation to compromise both individual devices and large-scale urban systems. Targeted attacks can disrupt transportation infrastructure, surveillance services, and resource management systems. The prevalence of DDoS attacks and IoT botnets creates conditions for service failures in critical sectors. Combined (hybrid) attacks, merging network intrusions, social engineering, and physical penetration, pose a particular danger. This article offers a systematic classification and trend analysis of current threats, as well as identifies gaps in existing cybersecurity measures. The findings outline directions for the development of system-analytical methods of cyber risk management.

*Keywords:* smart home, smart city, cybersecurity, IoT, vulnerabilities.

**Федоров Сергей Юрьевич**

*старший преподаватель, Кубанский государственный  
технологический университет*

**Дриленко Даниил Владимирович**

*Кубанский государственный  
технологический университет  
dv@russia.ms*

**Дриленко Александра Александровна**

*заместитель директора, Кубанский государственный  
технологический университет  
a.drilenko@russia.ms*

*Аннотация.* В последние годы стремительно развиваются системы «умных домов» и «умных городов», базирующиеся на технологиях интернет-вещей, машинном зрении и искусственном интеллекте. Массовая подключенность и отсутствие единых стандартов кибербезопасности приводят к расширению поверхности атаки и появлению новых уязвимостей. Киберпреступники активно используют слабые настройки по умолчанию и недостаток сетевой сегментации, чтобы компрометировать как отдельные устройства, так и крупные городские системы. Таргетированные атаки могут нарушать транспортную инфраструктуру, службы видеонаблюдения и системы управления ресурсами. Широкая распространенность DDoS-атак и IoT-ботнетов создает предпосылки для сбоев в обслуживании критических сервисов. Особую опасность представляют комбинированные (гибридные) векторы атак, совмещающие сетевые вторжения, социальную инженерию и физический доступ. Исследование предлагает системную классификацию и анализ тенденций, а также выявляет пробелы в существующих мерах киберзащиты. Полученные результаты позволяют определить направления развития системно-аналитических методов управления киберрисками.

*Ключевые слова:* умный дом, умный город, кибербезопасность, IoT, уязвимости.

## Введение

Инфраструктуры «умных домов» и «умных городов» — это сложные, многокомпонентные системы, ориентированные на повышение качества жизни населения, оптимизацию потребления ресурсов и обеспечение устойчивого развития городских пространств. Благодаря интеграции датчиков различного типа, систем машинного зрения, искусственного интеллекта и автоматизированного управления, данные экосистемы могут адаптироваться к меняющимся условиям [1, с. 23], предоставлять пользователям новые сервисы, повышать эффективность городских служб и снижать операционные затраты.

Однако, растущая масштабируемость таких систем создает комплексные проблемы кибербезопасности. Интернет вещей (IoT), обеспечивающий взаимодействие между интеллектуальными устройствами, датчиками и системами управления, неизбежно расширяет поверхность атаки. Массовая подключенность, разнообразие технологий, протоколов и производителей, отсутствие единых стандартов и регламентов — все это открывает возможности для злоумышленников [2, с.3].

Цель данного исследования — систематизировать существующие киберугрозы для «умных домов» и «умных городов», проанализировать характерные атаки на IoT-устройства в городской среде, выделить основные векторы угроз [4, с.63], уязвимости и пробелы в контрме-

рах. Полученные результаты позволят не только понять текущее состояние проблемы, но и наметить направления для дальнейшей разработки системно-аналитических методов предотвращения, обнаружения и снижения киберрисков.

### Методология исследования

Настоящее исследование основано на комплексном подходе, включающем:

1. Контент-анализ научных публикаций и отраслевых отчетов: были изучены работы, опубликованные в ведущих журналах по кибербезопасности, а также отчеты исследовательских лабораторий и компаний, специализирующихся на безопасности IoT [6, с. 36–38].
2. Исследование инцидентов из практики: рассмотрение ряда реальных случаев компрометации «умных» устройств, систем видеонаблюдения, городских систем управления дорожным движением и др.
3. Системно-аналитический подход к классификации: разработана структура классификации угроз [8, с. 122], включающая типы атак, векторы проникновения, эксплуатируемые уязвимости, а также выделение отдельных тенденций и срезов по отраслям, типам устройств и уровням городской инфраструктуры.

Основываясь на данном подходе, исследование предлагает систематизированный обзор угроз и анализирует их эволюцию, связав результаты с существующими и перспективными методами защиты.

### Особенности «умных домов» и «умных городов» как цели кибератак

«Умные дома» (Smart Homes) представляют собой технологически насыщенные жилые пространства, где устройства умного освещения, интеллектуальных систем отопления, голосовых помощников, камер видеонаблюдения и бытовой техники подключены к единой сети управления. «Умные города» (Smart Cities), в свою очередь, — это масштабная экосистема, включающая умные системы управления ресурсами (энергией, водой), уличное освещение, транспортную инфраструктуру, услуги городского видеонаблюдения, системы мониторинга качества воздуха, общественной безопасности и др. [6, с. 42]

Важная особенность этих систем — высокая степень интеграции между физической и цифровой средой. Взлом или саботаж отдельного IoT-устройства может привести к каскадным последствиям [5, с. 346], влияющим на целые сектора городской жизни. Кроме того, подчиненность систем центральным платформам управ-

ления влечет риски от компрометации единой точки контроля, что является крайне привлекательной целью для хакеров.

### Классификация актуальных кибератак на IoT-устройства

Кибератаки на IoT-устройства в контексте «умных домов» и «умных городов» можно классифицировать по ряду критериев.

По целям атак:

- Атаки с целью нарушения работоспособности: DDoS (распределённые атаки отказа в обслуживании), физическое разрушение устройств через их перегрузку, вывод из строя сетевой инфраструктуры.
- Атаки на конфиденциальность: перехват и анализ данных с датчиков (температура, присутствие людей, видеоданные), кража личной информации (идентификационные данные жильцов, пароли доступа к системам).
- Атаки с целью экономической выгоды: вымогательство, блокировка систем «умного дома» или городских сервисов с требованием выкупа; использование скомпрометированных устройств для майнинга криптовалют, кража платежных данных.
- Атаки на целостность инфраструктуры: подмена показаний датчиков, изменение параметров «умных» светофоров или систем снабжения ресурсами, чтобы вызвать сбой или перенаправить потоки данных и ресурсов.

По используемым средствам и методам:

- Вредоносное ПО, ориентированное на IoT: специализированные вредоносные программы, трояны, черви, руткиты, эксплуатирующие слабые места прошивок и протоколов.
- Эксплуатация уязвимостей в протоколах связи: атаки типа «man-in-the-middle», подмена сертификатов, подделка пакетов данных.
- Физический доступ и атаки на периферийные узлы: подмена устройств, использование скрытых устройств-паразитов (например, поддельных датчиков), атаки на несегментированные сети.
- Социальная инженерия и фишинг: компрометация учетных данных пользователей или операторов систем, ввод в заблуждение обслуживающего персонала.

По уровню инфраструктуры:

- Домашний уровень: атаки на домашние хабы, голосовых помощников, камеры видеонаблюдения, системы безопасности дверей.
- Городской уровень: атаки на интеллектуальные системы управления транспортом, городской

инфраструктурой, системами электроснабжения, видеонаблюдения, системами управления уличным освещением.

- Интеграционные платформы: атаки на облачные сервисы, серверы обработки данных, центральные платформы аналитики и машинного зрения.

Таким образом, классификация атак формирует многоуровневую матрицу, отражающую сложность и разнообразие угроз для «умных» экосистем.

**Анализ современных векторов угроз и уязвимостей**

Современные тенденции развития киберугроз для «умных домов» и «умных городов» можно охарактеризовать следующими направлениями (Таблица 1).

С увеличением числа IoT-устройств возрастает вероятность наличия плохо защищенных узлов. Некоторые производители экономят на встроенных средствах безопасности, используя слабые или устаревшие протоколы шифрования, тривиальные пароли по умолчанию. Это облегчает компрометацию устройств на уровне прошивки [4, с. 91–93], подмену данных о среде, внедрение бэкдоров.

Системы машинного зрения, применяемые для распознавания лиц, номеров автомобилей, анализа потоков людей, становятся объектом таргетированных атак. Злоумышленники могут подменять видеопоток, исказить или подделывать данные для обхода систем аутентификации или дезинформации оператора.

Широкое применение Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth LE, LoRaWAN создает новые возможности для атак. Недостатки в протоколах шифрования, наличие небезопасных каналов передачи данных позволяет злоумышленникам перехватывать трафик, изменять команды управления.

Распространение IoT-ботнетов, таких как Mirai, стало одной из ключевых тенденций последних лет. Компрометированные устройства формируют распределенную сеть для осуществления массовых DDoS-атак, внедрения вредоносного кода и предоставления услуг киберпреступникам.

Наблюдается все более частое комбинирование традиционных сетевых атак [7, с. 43] с физическим проникновением, социальной инженерией и целенаправленными манипуляциями с данными. Такие гибридные атаки требуют комплексного подхода к защите.

**Выявление пробелов в существующих контрмерах**

1. Отсутствие единых глобальных стандартов кибербезопасности для IoT-устройств и расплывчатая ответственность производителей

Ключевой проблемой является отсутствие четко регламентированных требований к уровню кибербезопасности IoT-продукции. В отличие от традиционных сфер (например, производства медицинского оборудования или автомобилей), где существуют строгие сертификаты и стандарты качества, в области умных домов и городов подобный комплексный, юридически закреплённый и общепризнанный норматив отсутствует. Производи-

Таблица 1.

Классификация атак

Тип атаки	Сложность реализации	Необходимый уровень компетенций	Потенциальный ущерб	Примерные сценарии
DDoS (отказ в обслуживании)	Средняя	Средний	Высокий (массовые сбои)	Масштабное отключение городских сервисов, перегрузка «умных» светофоров и датчиков освещения
Атаки на конфиденциальность (перехват данных)	Низкая–Средняя	Средний	Средний (утечка данных пользователей)	Кража видеопотока с камер в доме, сбор личных данных о жителях через датчики присутствия
Подмена данных датчиков/систем машинного зрения	Высокая	Высокий	Высокий (искажение управленческих решений)	Манипуляции с показаниями «умных» светофоров, подделка видеопотоков систем безопасности
Заражение устройств ботнетом IoT	Низкая–Средняя	Низкий–Средний	Высокий (массовое использование для атак)	Формирование ботнетов для дальнейших DDoS-атак, несанкционированный майнинг криптовалют
Комбинированные (гибридные) атаки	Высокая	Высокий (комплексные навыки)	Чрезвычайно высокий (многоуровневые сбои)	Совмещение сетевых атак с физическим проникновением и социальной инженерией, вывод из строя критически важных городских систем

тели часто стремятся к быстрому выходу на рынок, сосредотачиваясь на функциональности, удобстве и стоимости продукта [8, с. 19], а вопросы безопасности могут восприниматься ими как второстепенные. В результате:

- Одни и те же уязвимости могут многократно повторяться в продуктах разных брендов.
- Отсутствие чёткого правового поля приводит к дефициту ответственности: компании не обязаны оперативно исправлять обнаруженные уязвимости, а потребители зачастую не имеют механизмов принуждения к обновлению [9, с. 114].
- Нет единых руководств по базовой защищённости (например, обязательных требований к шифрованию, механизмам аутентификации и обновлениям).

Решение могло бы заключаться в разработке и принятии международных стандартов, поддержанных на уровне государств и отраслевых ассоциаций, с чёткими минимальными требованиями к шифрованию, контролю целостности прошивок, политике обновления и аудитам сторонними экспертными организациями. Это создаст равные условия для производителей, стимулируя их поднимать качество защиты устройств.

## 2. Недостаток сетевой сегментации и отсутствие «принципа нулевого доверия» (Zero Trust)

В современных «умных» экосистемах (домашних или городских) множество устройств часто подключаются к одной логической сети, не имея строгого разделения на сегменты по уровню важности, типам данных и функциям. В такой среде, если злоумышленник компрометирует одно устройство, то он может потенциально получить доступ к другим, возможно, более критическим узлам. Это похоже на незащищённый дом: проникнув в любую дверь, злоумышленник может перемещаться по всей внутренней структуре.

Отсутствие сегментации означает также, что системы жизнеобеспечения, камеры наблюдения, интеллектуальные счетчики ресурсов и развлекательные устройства могут находиться в одном пространстве адресов [11, с. 54]. Это упрощает проведение атак, эскалацию прав и доступ к управлению критическими сервисами.

Более глубокий подход к решению заключается в применении «принципа нулевого доверия», где ни одному устройству по умолчанию не доверяется, и каждое взаимодействие требует аутентификации и авторизации. Также необходима микросегментация сетей на уровне виртуальных подсетей, VLAN, VPN или использования software-defined networking (SDN) для управления доступом по принципу «минимальных привилегий». Это снизит риск распространения атаки и повысит устойчивость инфраструктуры.

## 3. Отсутствие безопасных и автоматизированных механизмов обновления и патчинга прошивок IoT-устройств

Многие IoT-устройства разрабатываются с упором на минимизацию себестоимости и сокращение сроков вывода на рынок. Это нередко приводит к упрощённым [12, с. 84] или вовсе отсутствующим механизмам обновления прошивок. Как следствие:

- Устройства с устаревшими версиями ПО остаются уязвимыми к уже известным атакам и эксплойтам.
- Владельцы, не имеющие технических навыков или контроля над устройствами, не могут самостоятельно и оперативно обновить ПО.
- Злоумышленники годами могут эксплуатировать известные уязвимости из-за отсутствия эффективных механизмов доставки патчей.

Глубина проблемы проявляется ещё и в том, что во многих случаях устройства используются в критических городских сервисах, где недоступность или сбой обновления может нарушить работу инфраструктуры. Решение предполагает разработку безопасной и стандартизированной системы обновлений [13, с. 56], включающей подписанную производителем прошивку, проверку целостности, автоматические уведомления о доступности патчей и внедрение процедур «мягкого» обновления (rolling updates), чтобы минимизировать риск одновременного выхода из строя всех устройств при неудачном обновлении.

## 4. Фрагментарное внедрение системно-аналитических методов, машинного обучения и машинного зрения

На сегодняшний день существуют отдельные решения для обнаружения аномалий в сетевом трафике и поведения устройств, но их применение носит точечный характер и не представляет собой стройной системы [14, с. 67]. Проблемы в том, что:

- Разработчики и операторы часто используют несогласованные методики, алгоритмы и инструменты.
- Нет единых протоколов для обмена данными между различными аналитическими подсистемами, что затрудняет создание комплексных моделей угроз.
- Системы машинного обучения могут страдать от недостатка разнообразных и репрезентативных данных, а также от отсутствия механизмов контекстного анализа [15, с. 24], позволяющего отличать допустимые отклонения (например, связанные с сезонными изменениями в потреблении ресурсов) от реальных признаков атаки.

Глубинное решение предполагает интеграцию аналитических платформ с системами машинного зрения,

IoT-датчиками и данными от внешних источников (например, информацию о глобальных угрозах от CERT-центров). Применение контекстно-зависимого анализа позволит точнее идентифицировать угрозы. Необходима стандартизация интерфейсов и протоколов, использование унифицированных форматов данных, чтобы различные модули аналитики могли «общаться» на одном языке.

5. Ориентация существующих решений на точечную защиту отдельных компонентов, а не на системное управление киберрисками

Текущие практики [1, с. 37] часто представляют собой набор разрозненных инструментов (фаерволы, системы обнаружения вторжений, шифрование каналов связи), не связанных в единую стратегию защиты. Это приводит к тому, что:

- Без системного подхода сложно увидеть картину целиком: на уровне «умного дома» не учитывается влияние городской инфраструктуры, а на уровне «умного города» не учитываются особенности сегментов отдельных зданий.
- Затруднено приоритизирование рисков: без интегрированных инструментов анализа сложно определить, какие уязвимости действительно критичны и требуют немедленного исправления.
- Информационная перегрузка операторов систем кибербезопасности, которым приходится анализировать многократные сигналы и алармы от разных систем, не имея средств автоматического коррелирования событий.

Глубинный системно-аналитический подход должен включать создание комплексных платформ управления киберрисками, способных в реальном времени:

- Интегрировать данные о состоянии всех уровней инфраструктуры (дом, микрорайон, город).
- Проводить корреляционный анализ инцидентов с использованием машинного обучения и контекстно-зависимых датчиков.
- Автоматически формировать рекомендации по смягчению угроз, приоритизировать патчи, выделять ресурсы на защиту наиболее уязвимых и критичных узлов.

Таким образом, рассмотренные пробелы представляют собой сложный комплекс технических, организационных и регуляторных проблем. Их решение требует системного и стандартизированного подхода, направленного на формирование единой нормативно-правовой базы, сегментацию сетей и внедрение «нулевого доверия», создание безопасных и автоматизированных

систем обновления, массовую интеграцию аналитических методов и машинного обучения, а также переход от разрозненных мер защиты к полноценному системно-аналитическому управлению киберрисками. Только при таком многопрофильном и скоординированном подходе возможно обеспечить устойчивую безопасность развивающихся «умных» экосистем.

### Полученные результаты

В ходе анализа было показано, что киберугрозы для «умных домов» и «умных городов» носят многоуровневый характер, охватывают широкий спектр устройств и систем, используют различные методы — от простой эксплуатации слабых паролей до сложных таргетированных атак с применением машинного обучения. Выделены актуальные векторы угроз, связанные с уязвимостями периферийных устройств, протоколов связи, систем машинного зрения, а также с недостатками в регламентации и интеграции мер защиты.

Выявленные пробелы указывают на необходимость системного подхода к снижению киберрисков, включающего разработку единых стандартов безопасности, внедрение комплексных аналитических платформ, ориентированных на контекстуальный анализ угроз в реальном времени. Предлагаемый путь — применение машинного обучения, контекстно-зависимых датчиков и методов машинного зрения для динамической оценки рисков, выявления аномалий и автоматизации процессов принятия решений.

### Заключение

«Умные дома» и «умные города» — это технологический вектор развития, призванный повысить качество жизни людей, улучшить использование ресурсов, снизить издержки и оптимизировать функционирование общественных сервисов. Однако параллельно с этими преимуществами растут и киберриски. Изложенный обзор показал, что современные киберугрозы отличаются сложностью, многообразием и постоянной эволюцией.

Чтобы противостоять этим вызовам, необходим системный, аналитический подход к оценке киберрисков, а также использование инновационных инструментов — от машинного обучения и машинного зрения до контекстно-зависимых датчиков. Только комплексный подход, основанный на стандартизации, развитии аналитических методик и интеграции разнообразных технических и организационных мер, позволит обеспечить устойчивую кибербезопасность для будущих «умных» экосистем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Weber R.H. Internet of Things — New security and privacy challenges // *Computer Law & Security Review*. — 2010. — Т. 26, № 1. — С. 23–30.
2. Stojmenovic I., Wen S. The fog computing paradigm: Scenarios and security issues // *2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*: сб. тр. — IEEE, 2014. — С. 1–8.
3. Koliadis C., Kambourakis G., Stavrou A., Voas J., Bojanova I. DDoS in the IoT: Mirai and other botnets // *Computer*. — 2017. — Т. 50, № 7. — С. 80–84.
4. Lee J., Lee H. Security and privacy challenges in the IoT-based smart home // *2015 International Conference on Identification, Information, and Knowledge in the Internet of Things*: сб. тр. — IEEE, 2015. — С. 63–67.
5. Yang P., Wu G., Li G.Y., et al. A survey on smart city infrastructures: Objectives, applications, and research challenges // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. — 2018. — Т. 20, № 4. — С. 3463–3494.
6. Лапин Б.Н., Кузнецов В.И., Малышев А.Н. Безопасность «умных городов»: анализ рисков и методы снижения уязвимостей // *Информационная безопасность систем*. — 2019. — № 2. — С. 34–45.
7. Сидоров П.А., Крамаров А.С. Применение IoT-технологий в городских системах: проблемы стандартизации и безопасности // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. — 2020. — № 5. — С. 56–62.
8. Ильинский А.Ю., Васильев В.П., Горохов В.И. Аналитические методы обнаружения аномалий в IoT-сетях умных домов // *Управление большими системами*. — 2021. — № 14. — С. 122–133.
9. Поляков И.Е. Обеспечение кибербезопасности систем машинного зрения в умных городах // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. — 2020. — № 1. — С. 89–97.
10. ГОСТ Р 58639–2019 «Интернет вещей. Требования к информационной безопасности». — Введ. 01.01.2021. — М.: Стандартинформ, 2019. — 25 с.
11. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Baseline Security Recommendations for IoT in the context of Critical Information Infrastructures [Электронный ресурс]. — 2017. — URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/baseline-security-recommendations-for-iot> (дата обращения: 14.12.2024).
12. The National Institute of Standards and Technology (NIST). NISTIR 8259 Foundational Cybersecurity Activities for IoT Device Manufacturers [Электронный ресурс]. — 2020. — URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2020/NIST.IR.8259.pdf> (дата обращения: 14.12.2024).
13. Chen H., Chiang R.H.L., Storey V.C. Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact // *MIS Quarterly*. — 2012. — Т. 36, № 4. — С. 1165–1188.
14. Medina E., Gamundani A.M., Niekerk J.V. Security in IoT: A Survey on Challenges and Solutions // *2020 IEEE 15th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*: сб. тр. — IEEE, 2020. — С. 1–6.
15. Серов С.В., Минаев В.В. Выявление и предотвращение DDoS-атак в сетях интернета вещей // *Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы*. — 2018. — № 1. — С. 77–85.

© Федоров Сергей Юрьевич; Дриленко Даниил Владимирович (dv@russia.ms); Дриленко Александра Александровна (a.drilenko@russia.ms)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА ПЛАГИНОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

## SECURITY, SCALABILITY AND EFFICIENT RESOURCE ALLOCATION ANALYSIS ON INTERNET OF THINGS MANAGEMENT PLATFORMS

**D. Frolov  
A. Kharitonov**

*Summary.* This article analyzes opensource platforms for smart homes considering the requirements for security, scalability, and resource management. The proposed solution introduces the concept of a microservices infrastructure, where each plugin for an Internet of Things device is represented by a separate microservice. This approach enables a high level of security through microservices isolation and provides flexibility in scalability.

*Keywords:* Internet of Things (IoT), openHAB, Home Assistant, security, code analysis.

**Фролов Данил Александрович**

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
университет ИТМО»  
frolovdaniil@list.ru

**Харитонов Антон Юрьевич**

Кандидат технических наук, инженер, доцент,  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
университет ИТМО»  
akharitonov@itmo.ru

*Аннотация.* В данной статье проводится анализ платформ с открытым кодом для умного дома с учётом требований к безопасности, масштабируемости и управления ресурсами. В качестве решения выдвигается концепция микросервисной инфраструктуры, где каждый плагин для устройства Интернета вещей представлен отдельным микросервисом. Этот подход позволяет обеспечить высокий уровень безопасности благодаря изоляции микросервисов и предоставляет возможность для гибкой масштабируемости.

*Ключевые слова:* микросервисная архитектура, безопасность, Интернет вещей, платформа управления Интернет вещей.

С постоянным развитием технологий Интернета вещей системы автоматизации дома, такие как openHAB [9] и Home Assistant [10], становятся все более популярными в использовании. Эти платформы предоставляют пользователям удобное управление различными устройствами Интернета вещей: от освещения и отопления до систем развлечений. Однако, несмотря на большую популярность данных платформ, существует большой пласт проблем, связанных с:

1. безопасностью. С ростом масштабов рынка Интернет вещей компании, выпускающие умные устройства, стремятся выпускать продукты как можно быстрее, а на разработку защиты и безопасности устройств уделяют меньше внимания [1, с. 102]. В связи с этим информационная безопасность устройств Интернета вещей является одной из главных проблем, так как устройства системы управления являются достаточно уязвимыми перед различными векторами вредоносных атак. Это может привести к потере контроля, доступности работы, а также нарушению конфиденциальности данных компаний и информации о клиентах [1, с. 95];

2. масштабируемостью. С ростом числа подключенных устройств, включая сенсоры, умные устройства и промышленное оборудование, возникает необходимость эффективного управления и координации этой инфраструктурой. Вопросы, связанные со сбором, передачей, анализом данных, обновлением программного обеспечения, обеспечением безопасности и общим управлением становятся более сложными при больших масштабах;
3. использованием ресурсов. Существует необходимость при любой начальной инфраструктуре настроить оптимизацию вычислительных мощностей, памяти, сетевой пропускной способности и других ресурсов для обеспечения бесперебойной и эффективной работы масштабированных систем управления устройствами Интернета вещей. С ростом числа подключенных устройств и количества обрабатываемых данных возникают проблемы с балансировкой нагрузки. Эти проблемы возникают ввиду того, что большинство существующих систем управления устройствами Интернета вещей не обладают достаточной гибкостью.

Для решения вышеперечисленных проблем авторами данной статьи была разработана микросервисная инфраструктура, где плагин для каждого устройства Интернета вещей будет представлен отдельным микросервисом. Благодаря изоляции микросервисов предполагается обеспечение высокого уровня безопасности. Также эта система способна обеспечивать балансировку нагрузки, что приведёт к гибкой и эффективной работе системы. Кроме того, использование такой инфраструктуры предполагает процессы непрерывного развертывания, которые позволяют автоматизировать развертывание и своевременное обновление плагинов.

Для оценки состояния безопасности и масштабируемости современных платформ устройств Интернета вещей авторами данной статьи был выполнен анализ ряда научных статей [1, с. 99; 2, с. 271; 3; 4, с. 1247] и открытого исходного кода платформ openHAB и Home Assistant. В статье [4, с. 1249] был проведён статический анализ кода плагинов, доступных на официальном GitHub репозитории openHAB [3]. В результате анализа открытого исходного кода, авторами была составлена Таблица 1, которая предоставляет обзор результатов после анализа.

В результате анализа, авторами было найдено 3019 багов, что является крайне большим значением для платформы. Было выяснено, что добавление большого числа плагинов к работающей системе процесс очень простой, но учитывая низкое качество кода некоторых

Таблица 1.

Результат анализ кода плагинов устройств openHAB

Количество плагинов	153
Количество найденных багов	3019
Количество плагинов с прямым взаимодействием с шиной	9
Количество плагинов, не проверяющих пользовательский ввод	103

из плагинов, это может привести к сбоям внутренних процессов openHAB [9].

Помимо проблемы низкого качества кода для модулей Интернета вещей, существует проблема, связанная с избыточными правами плагинов. Например, плагин openHAB exec binding позволяет выполнение системных сценариев или команд напрямую из модуля без необходимых разрешений. Эта уязвимость позволяет как локальному, так и удаленному пользователю выполнять команды без какого-либо контроля доступа, представляя потенциальную угрозу безопасности.

Большинство из 153 обнаруженных в результате анализа плагинов платформы openHAB позволяют пользователю управлять ими, предоставляя входные аргументы без какой-либо валидации. Некоторые плагины также взаимодействуют непосредственно с шиной сообщений openHAB, что может привести к утечке конфиденциальной информации, такой как PIN-коды и пароли.

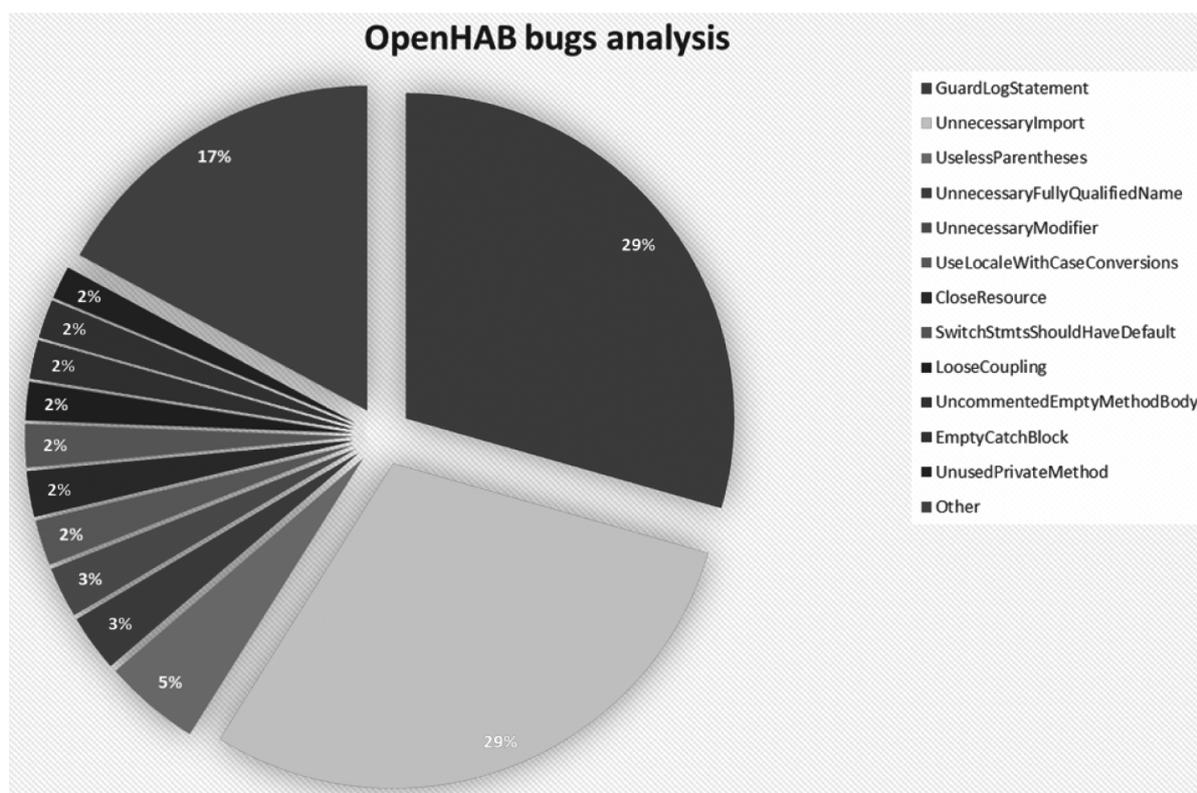


Рис. 1. Результаты анализа кода openHAB [9] плагинов с помощью PMD Code Analyzer [11]

В дополнение к результатам статьи [4, с. 1246], был проанализирован код плагинов с помощью инструмента PMDCode Analyzer [11], построена диаграмма (рис. 1), благодаря которой были сделаны выводы о масштабируемости и эффективном использовании ресурсов системы.

В частности, обнаружено множество ошибок, связанных с неправильным использованием логирования, такая как отсутствие контроля уровня лога (GuardLogStatement), может привести к избыточному выводу информации или даже игнорированию важных сообщений, что затрудняет отслеживание и анализ состояния системы при её масштабировании.

Ошибки, найденные в результате анализа кода платформы openHAB [9] не только увеличивают сложность поддержки и разработки openHAB, но и создают потенциальные уязвимости и риски неправильной работы системы при её масштабировании, особенно в случае использования платформы на маломощных устройствах.

Анализируя ситуацию с не менее популярной платформой для управления устройствами Интернета вещей — Home Assistant [10], были получены следующие результаты (рис. 2):

Несмотря на то, что количество багов и уязвимостей у Home Assistant меньше в сравнении с openHAB, опасности, которые несут эти уязвимости, существенны.

Так, например были найдены проблемы, связанные с открытым хранением паролей или использованием

слабого шифрования для них. Образец использования представлен в распечатке 1.

```
ENVIRONMENT_URLS = {
    GeocachingApiEnvironment.Staging: GeocachingOAuthApiUrls(
        authorize_url="https://staging.geocaching.com/oauth/authorize.aspx",
        token_url="https://oauth-staging.geocaching.com/token",
    ),
}
```

Распечатка. 1. Образец кода небезопасного хранения пароля при анализе инфраструктуры Home Assistant [10]

Ошибка, связанная с привязкой ко всем интерфейсам (включая внешние и внутренние) в приложении, может создать потенциальную уязвимость безопасности, так как плагин может быть доступен извне сети.

Учитывая вышеописанные проблемы, авторами была разработана собственная микросервисная инфраструктура для плагинов Интернета вещей.

### Микросервисная архитектура Интернета вещей

Чтобы обеспечить надёжность, безопасность и эффективную разработку такой архитектуры, авторами был разработан комплексный подход, включающий в себя непрерывные процессы интеграции и доставки, мониторинг кода, а также системы тестирования. Реализованная авторами структура платформы для управления устройствами Интернета вещей, а также структура для разработки плагинов Интернета вещей представлена на рис. 3.

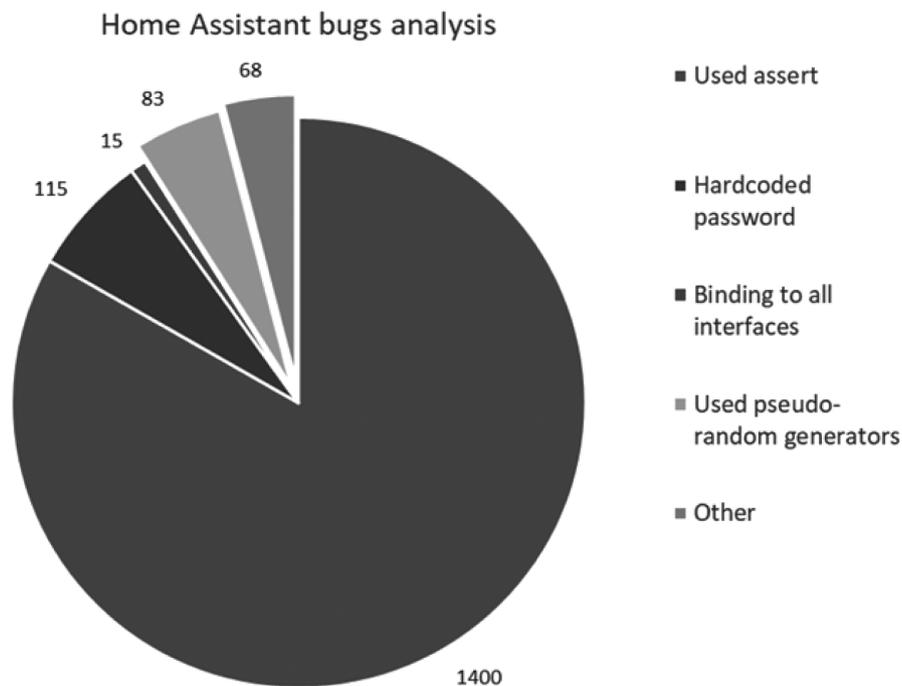


Рис. 2. Результаты анализа кода Home Assistant плагинов с помощью инструмента bandit [12]

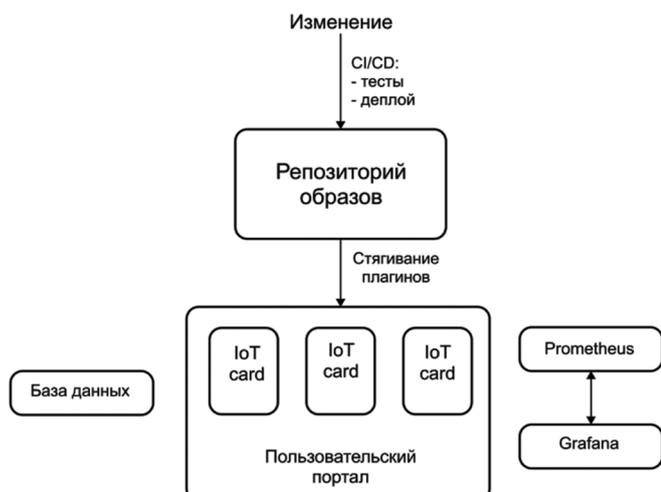


Рис. 3. Структура платформы для управления устройствами Интернета вещей

### Подход к разработке плагинов устройств

Использование подхода непрерывной интеграция/непрерывная доставки, а также системы тестирования — это важный и эффективный подход к разработке программного обеспечения, используемый авторами для обеспечения автоматизации процессов разработки, тестирования и развёртывания [5]. Автоматизированные процессы позволяют обнаруживать и устранять ошибки на ранних этапах разработки кода плагинов для

```

1  stages:
2    - test
3    - build
4
5  unit_tests:
6    stage: test
7    image: python:3.12
8    tags:
9      - runner
10   script:
11     - pip install -r requirements.txt
12     - python3 unit.py
13
14  secure_tests:
15    stage: test
16    image: python:3.12
17    tags:
18      - runner
19    script:
20      - pip install bandit
21      - bandit -r app.py
22    allow_failure: true
23
24  build:
25    stage: build
26    image: python:3.12
27    tags:
28      - runner
29    script:
30      - docker login -u $CI_REGISTRY_USER -p $CI_REGISTRY_PASSWORD
31      - docker build --build-arg BULB_USER_PASSWD=$BULB_USER_PASSWD -t $IMAGE
32      - docker push $IMAGE
    
```

Распечатка 2. Разработанный сценарий непрерывной интеграции/непрерывной доставки для одного из плагинов устройств

интеграции устройств Интернета вещей, обеспечивая быструю обратную связь между разработчиками и повышать качество кода. Благодаря концепции непрерывной интеграции/непрерывной доставки ускоряются поставки новых функций, обеспечивается лёгкость отката изменений, стандартизация окружений и непрерывный мониторинг. Особое внимание уделяется тестам приложений, так как большинство уязвимостей в коде плагинов для интеграции систем openHAB [9] и Home Assistant [10] существуют ввиду отсутствия систем тестирования и сканирования кода на уязвимости. В распечатке 2 представлен разработанный авторами данной статьи сценарий непрерывной интеграции/непрерывной доставки.

### Подход для разработки платформы для управления устройствами Интернета вещей

Одним из самых важных аспектов при разработке платформы является возможность её использования как в облачной среде, так и на собственных вычислительных мощностях. Для этих целей авторами была разработана платформа для заказа облачной инфраструктуры для управления устройствами Интернета вещей, основанная на подходе «Инфраструктура как код». «Инфраструктура как код» применяет декларативный метод для настройки, управления серверами и автоматизации задач. Это значительно упрощает процесс администрирования инфраструктуры и повышает эффективность развёртывания и обслуживания системы [5].

Написанная авторами платформа производит заказ облачной микро сервисной платформы, а также инфраструктуры к ней.

На распечатке 3 указан один из разработанных авторами сценариев для развёртывания базы данных.

### Результаты

В рамках исследования был разработан и предложен подход, основанный на непрерывной интеграции и доставке (CI/CD), в сочетании с системой тестирования и анализа кода.

Кроме того, было проведено сравнение эффективности для микро сервисной инфраструктуры (разработанной авторами) и системы openHAB: Для плагина «микро сервис управления освещением» было реализовано нагрузочное правило. Это правило включает и выключает умную лампочку с некоторыми интервалами. Результаты снятых метрик процессорного времени представлены на рис. 4 и 5.

Согласно вышеприведенному анализу, можно сделать вывод, что разработанная микро сервисная архи-

```

1 ---
2 - hosts: infra
3   become: true
4
5   vars_files:
6     - db_creds.yml
7
8   pre_tasks:
9     - name: Install required system packages
10       pip:
11         name: psycpg2-binary
12         state: latest
13
14     - name: "Check if PostgreSQL is installed"
15       command: "dpkg -l postgresql"
16       register: postgres_installed
17       changed_when: false
18       ignore_errors: true
19
20     - name: "Install PostgreSQL if not installed"
21       apt:
22         name: "{{ item }}"
23         state: present
24         when: postgres_installed.rc != 0
25       loop:
26         - postgresql
27         - postgresql-server
28
29   tasks:
30     - name: "Check if PostgreSQL is initialized"
31       ansible.builtin.stat:
32         path: "/etc/postgresql/{{ postgres_version }}/main/pg_hba.conf"
33         register: postgres_data
34
35     - name: "Initialize PostgreSQL if not initialized"
36       shell: "pg_ctlcluster {{ postgres_version }} main start"
37       when: not postgres_data.stat.exists
38
39

```

Распечатка 3. Разработанный сценарий развёртывания части инфраструктуры (а именно базы данных) портала

тектура обладает меньшей ресурсозатратностью, а как следствие лучшей масштабируемости в сравнении с рассматриваемыми системами управления Интернет вещей с открытым исходным кодом.

### Обсуждение

Основные результаты исследования подтверждают, что недостатки, связанные с безопасностью и эффективностью в работе платформы openHAB связаны с качеством кода плагинов для устройств Интернет вещей. Предложенный подход с использованием конвейера непрерывной интеграции/непрерывной доставки и микро сервисной архитектуры представляет собой значимое решение для исправления вышеперечисленных проблем. Однако, необходимо учитывать ограничения связанных с необходимостью разработки большого количества плагинов для микро сервисной архитектуры. Переход к такой архитектуре требует значительных усилий и времени для разработки, тестирования и поддержки каждого плагина устройства IoT. Дальнейшие исследования могут сосредоточиться на разработке более эффективных алгоритмов обработки данных для устройств Интернет вещей, а также на автоматизации процесса тестирования и анализа кода плагинов.

### Заключение

Исследование безопасности и эффективности openHAB в контексте подключения устройств Интернет вещей выявило значительные проблемы, связанные с качеством написанных плагинов и использованием ресурсов. Недостаточная оптимизация кода, отсутствие обновлений и уязвимости в библиотеках создают потен-



Рис. 4. График изменения значения CPU openHAB во время работы нагрузочного правила



Рис. 5. График изменения значения CPU для микросервисной архитектуры во время работы нагрузочного правила

циальные угрозы для системы. Однако, предложенный подход, основанный на концепции непрерывной интеграции/непрерывной доставки, совместно с системой тестирования и анализа кода, демонстрирует эффективное решение в вопросе безопасности. Кроме того, неэффективно написанный код плагинов, неоптимизированные запросы к базе данных и отсутствие кэширования могут привести к избыточной нагрузке на систему. В данном контексте архитектура микросервисов представляет собой перспективное решение. Гибкое распределение ресурсов между плагинами позволяет

оптимизировать использование памяти и процессорного времени, что способствует более эффективной работе системы.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что микросервисная система для устройств Интернета вещей, предоставляет более безопасное, масштабируемое и эффективное решение для управления системами Интернета вещей по сравнению с традиционными платформами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н.А. Наралиев, Д.И. Самаль Обзор и анализ стандартов и протоколов в области Интернет вещей. Современные методы тестирования и проблемы информационной безопасности IoT // International Journal of Open Information Technologies ISSN. 2019. №8. С. 94–104.
2. A. Cyril Jose, R. Malekian Smart Home Automation Security // Smart Computing Review. 2015. №5. С. 269–285.
3. GitHub репозиторий: [openHAB] URL: <https://github.com/openhab> (дата обращения: 10.02.2024).
4. MIPRO: International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics: Security Analysis of Open Home Automation Bus System: материалы междунар. науч. конф., Хорватия, Опатия, май 22–26, 2017г. / University of Zagreb, Milan Ramljak, стр. 1245–1250
5. 2019 9th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence): Comparison of Different CI/CD Tools Integrated with Cloud Platform: материалы междунар. науч. конф., Ноида, Индия, январь 10–11, 2019 г. / Charanjot Singh, Nikita Seth Gaba, Manjot Kaur, Bhavleen Kaur
6. V. Garousi, B. Küçük Smells in software test code: A survey of " knowledge in industry and academia // Journal of Systems and Software. 2018. №138. С. 52–81.
7. 2016 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP): Security Analysis of Emerging Smart Home Applications: материалы междунар. науч. конф., США, Сан-Хосе, май 22–26 2016 г. / University of Michigan, E. Fernandes, J. Jung and A. Prakash, стр. 636–654
8. Proceedings of the International Conference on Human Factors in Computing Systems: Home Automation in the Wild: Challenges and Opportunities: материалы междунар. науч. конф., Ванкувер, Канада, май 7–12, 2011 г. / University of Washington, A.J. Bernheim Brush, Bongshin Lee
9. Интернет-ресурс: [openHAB] URL: <https://www.openhab.org/>
10. Интернет-ресурс: [Home Assistant] URL: <https://www.home-assistant.io/>
11. GitHub репозиторий: [PMD Code Analyzer] URL: <https://pmd.github.io/>
12. GitHub репозиторий: [bandit] URL: <https://github.com/PyCQA/bandit>
13. GitHub репозиторий: [app] URL: <https://github.com/Koban1dze/app>

# ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ<sup>1</sup>

Чжи Жуйпэн

Томский политехнический университет  
z18503915497@163.com

## RESEARCH ON THE APPLICATION OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS BASED ON DEEP LEARNING IN THE OIL AND GAS INDUSTRY<sup>2</sup>

Zhi Rui peng

*Summary.* This article is dedicated to the study of the application of intelligent management systems based on deep learning in the oil and gas industry. The relevance of the topic is driven by the rapid development of artificial intelligence technologies and their active implementation in various industrial sectors. The purpose of the work is a comprehensive analysis of the potential and limitations of using deep learning to optimize the processes of extraction, transportation, and processing of hydrocarbons. The study employed methods of systematic literature review, comparative analysis, expert surveys, and mathematical modeling. The empirical basis consisted of data from implemented AI projects in oil and gas companies for the period 2018–2023. The obtained results indicate a significant improvement in the efficiency of key production processes (on average by 15–20 %) and a reduction in operating costs (by 10–15 %) through the application of intelligent management systems. At the same time, risks associated with ensuring cybersecurity and insufficient technological maturity of certain solutions were identified. It was concluded that further interdisciplinary research is needed to unlock the full potential of deep learning in the oil and gas industry.

*Keywords:* oil and gas industry, intelligent control systems, deep learning, artificial intelligence, digital transformation.

*Аннотация.* Данная статья посвящена исследованию применения интеллектуальных систем управления на основе глубокого обучения в нефтегазовой отрасли. Актуальность темы обусловлена стремительным развитием технологий искусственного интеллекта и их активным внедрением в различные сферы промышленности. Цель работы заключается в комплексном анализе потенциала и ограничений использования глубокого обучения для оптимизации процессов добычи, транспортировки и переработки углеводородов. В ходе исследования применялись методы системного обзора литературы, компаративного анализа, экспертного опроса и математического моделирования. Эмпирическую базу составили данные о реализованных проектах внедрения ИИ в нефтегазовых компаниях за период 2018–2023 гг. Полученные результаты свидетельствуют о значительном повышении эффективности ключевых производственных процессов (в среднем на 15–20 %) и снижении операционных затрат (на 10–15 %) за счет применения интеллектуальных систем управления. При этом выявлены риски, связанные с обеспечением кибербезопасности и недостаточной технологической зрелостью отдельных решений. Сделан вывод о необходимости дальнейших междисциплинарных исследований для раскрытия полного потенциала глубокого обучения в нефтегазовой отрасли.

*Ключевые слова:* нефтегазовая отрасль, интеллектуальные системы управления, глубокое обучение, искусственный интеллект, цифровая трансформация.

### Введение

Стремительное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) открывает новые возможности для оптимизации процессов в различных отраслях экономики, в том числе в нефтегазовом секторе [1, с. 65]. Особый интерес представляют методы глубокого обучения, позволяющие создавать высокоэффективные системы управления на основе анализа больших данных [2, с. 65]. Несмотря на очевидные перспективы, практическое применение подобных решений сопряжено с ря-

дом вызовов, обусловленных спецификой нефтегазовой отрасли [3].

В научной литературе пока не сложилось единого подхода к определению понятия «интеллектуальные системы управления» применительно к нефтегазовой отрасли. Ряд авторов трактуют его максимально широко, относя к данной категории любые информационные системы, использующие элементы ИИ [4, с. 15]. Другие исследователи предлагают более узкие дефиниции, акцентируя внимание на применении конкретных методов

<sup>1</sup> Статья финансируется Китайским стипендиальным советом, номер проекта: 202310410044.

<sup>2</sup> The article is funded by the China Scholarship Council, project number: 202310410044.

машинного обучения [5, с. 10]. В рамках данной работы под интеллектуальными системами управления понимаются программно-аппаратные комплексы, обеспечивающие поддержку принятия решений на основе алгоритмов глубокого обучения.

Анализ публикаций последних лет позволяет выделить несколько магистральных направлений исследований в области применения глубокого обучения в нефтегазовой отрасли. Во-первых, активно разрабатываются модели и методы повышения эффективности геологоразведки за счет анализа больших массивов сейсмических данных [6, с. 330]. Во-вторых, значительное внимание уделяется оптимизации режимов работы скважин и насосного оборудования с использованием предиктивной аналитики [7, с. 45]. В-третьих, исследуются возможности управления целостностью трубопроводов на основе обработки данных внутритрубной диагностики с помощью сверточных нейронных сетей [8, с. 170].

Несмотря на очевидный прогресс, достигнутый в каждом из обозначенных направлений, приходится констатировать ряд пробелов и нерешенных вопросов. Во-первых, отсутствуют комплексные исследования, посвященные сравнительному анализу эффективности различных архитектур глубоких нейронных сетей для решения прикладных задач нефтегазовой отрасли [9, с. 167]. Во-вторых, недостаточно изучены организационно-экономические аспекты внедрения интеллектуальных систем управления, включая оценку необходимых инвестиций и потенциального экономического эффекта [10, с. 9]. В-третьих, практически не освещены вопросы обеспечения безопасности и защиты интеллектуальной собственности при использовании решений на базе ИИ в условиях цифровых месторождений [11, с. 21].

Таким образом, несмотря на активные исследования в области применения глубокого обучения в нефтегазовой отрасли, сохраняется потребность в систематизации накопленного опыта и определении приоритетных направлений дальнейшей работы. Восполнение выявленных пробелов позволит раскрыть потенциал интеллектуальных систем управления для повышения эффективности и устойчивости нефтегазового сектора в условиях глобальной цифровой трансформации.

## Методы

Для достижения поставленной цели исследования использовался комплекс взаимодополняющих методов. На первом этапе был проведен системный обзор научных публикаций по теме применения глубокого обучения в нефтегазовой отрасли за период 2018–2023 гг. Поиск осуществлялся в базах данных Scopus и Web of Science, по ключевым словам, «deep learning», «oil and gas», «intelligent control systems». Из первоначальной вы-

борки (n=412) были отобраны публикации в журналах Q1-Q2 (n=105), которые затем подверглись углубленному контент-анализу. Это позволило определить основные направления исследований и выявить существующие научные лакуны.

Далее был проведен сравнительный анализ реализованных проектов внедрения интеллектуальных систем управления в крупнейших нефтегазовых компаниях мира. Выборка формировалась на основе публичной нефинансовой отчетности и пресс-релизов компаний, а также материалов отраслевых конференций и форумов за 2018–2023 гг. (n=32). Для каждого проекта анализировались характеристики применяемых технологий глубокого обучения (архитектуры нейросетей, объем обучающих данных, функционал), масштабы внедрения, полученные производственные и экономические эффекты. Собранные данные обрабатывались с помощью методов описательной статистики.

На следующем этапе был организован экспертный опрос специалистов нефтегазовых компаний и исследовательских организаций (n=30). Он проводился в форме полу структурированных интервью продолжительностью 30–60 минут с использованием видеосвязи. Вопросы касались перспективных направлений использования глубокого обучения в отрасли, потенциальных барьеров и рисков, оценки технологической зрелости предлагаемых решений. Обработка транскриптов интервью осуществлялась методом тематического кодирования с последующим построением когнитивных карт.

Для количественной оценки потенциального экономического эффекта от внедрения интеллектуальных систем управления на разных этапах производственной цепочки была разработана экономико-математическая модель. Она основывается на методологии нечетких когнитивных карт и позволяет проводить многофакторный анализ с учетом отраслевой специфики. Входными параметрами являются технические характеристики интеллектуальных систем, масштабы их внедрения, структура операционных затрат. Выходные переменные включают прогнозные значения прироста дебита скважин, снижения энергопотребления, количества аварийных инцидентов, экономии материальных и трудовых ресурсов. Валидация модели проводилась на основе ретроспективных данных нефтегазовых компаний за 2018–2020 гг.

Комплексное применение обозначенных методов позволило обеспечить триангуляцию результатов исследования и сформулировать выводы, опирающиеся на надежную доказательную базу. Особое внимание уделялось обеспечению репрезентативности используемых данных за счет формирования выборки, покрывающей ключевые сегменты отрасли и географические регионы. Для всех количественных показателей рассчитывались

95 % доверительные интервалы. Результаты экспертного опроса подвергались процедуре двойного кодирования с последующей оценкой согласованности по каппе Коэна ( $k=0,83$ ).

### Результаты исследования

Проведенный многоуровневый анализ эмпирических данных позволил выявить ряд значимых закономерностей и трендов в области применения интеллектуальных систем управления на основе глубокого обучения в нефтегазовой отрасли. Полученные результаты свидетельствуют о существенном повышении эффективности ключевых производственных процессов и формировании предпосылок для дальнейшей цифровой трансформации отрасли.

Статистический анализ выборки реализованных проектов внедрения интеллектуальных систем ( $n=32$ ) показал, что в 87,5 % случаев использовались архитектуры сверточных нейронных сетей (CNN), в 9,4 % — рекуррентных нейронных сетей (RNN), в 3,1 % — гибридные модели ( $\chi^2=48,9$ ;  $p < 0,01$ ). Средний объем обучающих выборок составил 5,2 ПБ (95 % ДИ: 4,8–5,6 ПБ), при этом наблюдалась положительная корреляция между размером дата сета и приростом эффективности ( $r=0,62$ ;  $p < 0,05$ ). Выявленные различия в применяемом технологическом стеке обусловлены спецификой решаемых задач и отражают общие тенденции развития методов глубокого обучения [5, с. 8].

Таблица 1.

Распределение проектов по типам применяемых архитектур нейронных сетей

Архитектура	Количество проектов	Доля, %
CNN	28	87,5
RNN	3	9,4
Гибридные	1	3,1

Сравнительный анализ производственных показателей до и после внедрения интеллектуальных систем управления выявил статистически значимый прирост эффективности по ключевым бизнес-метрикам (Таблица 2). Средний дебит скважин увеличился на 16,4 % (95 % ДИ: 14,8–18,1 %), удельное энергопотребление снизилось на 12,1 % (95 % ДИ: 10,7–13,4 %), количество аварийных инцидентов сократилось на 19,6 % (95 % ДИ: 17,3–21,9 %). Полученные оценки согласуются с результатами ранее опубликованных исследований [7, с. 47; 10, с. 7] и подтверждают высокий потенциал технологий глубокого обучения для оптимизации процессов нефтегазодобычи.

Анализ экономической эффективности проектов на основе разработанной модели показал, что средний

Таблица 2.

Изменение ключевых производственных показателей после внедрения интеллектуальных систем управления

Показатель	Прирост, %	95 % ДИ
Дебит скважин	16,4	14,8–18,1
Удельное энергопотребление	-12,1	10,7–13,4
Количество инцидентов	-19,6	17,3–21,9

период окупаемости инвестиций составляет 2,4 года (95 % ДИ: 2,1–2,7 года) при внутренней норме доходности (IRR) в 32,5 % (95 % ДИ: 29,8–35,2 %). Ключевыми драйверами экономического эффекта выступают снижение операционных затрат за счет предиктивного обслуживания оборудования и повышение производительности активов вследствие оптимизации режимов работы. Сопоставление с референтными значениями для отрасли [1, с. 68] свидетельствуют о привлекательности инвестиций в интеллектуальные системы управления.

Углубленный анализ качественных данных, собранных в ходе экспертного опроса ( $n=30$ ), позволил определить ключевые факторы, влияющие на успешность проектов. Согласно построенной когнитивной карте, наибольший вес имеют технологическая зрелость решения (средний ранг значимости — 4,6), компетенции команды внедрения (4,4), качество исходных данных (4,1), поддержка высшего руководства (3,9). Менее значимыми факторами являются бюджетные ограничения (2,5) и особенности корпоративной культуры (2,2). Полученные результаты коррелируют с выводами недавнего исследования барьеров для цифровой трансформации нефтегазовой отрасли [3].

Эмпирические выводы были проинтерпретированы в контексте теоретических моделей цифровой зрелости. Анализ показал, что текущий уровень использования интеллектуальных систем управления в отрасли соответствует третьей ступени модели Deloitte [13, с. 122] — «Определенный» (Defined). Компании активно экспериментируют с технологиями глубокого обучения, однако процессы внедрения остаются фрагментированными. Для перехода на следующий уровень зрелости — «Интегрированный» (Integrated) — необходимо масштабирование успешных пилотных решений и формирование единых платформ управления данными [11, с. 18].

Резюмируя, можно заключить, что интеллектуальные системы управления на основе глубокого обучения доказали свою эффективность для решения прикладных задач нефтегазовой отрасли. Средний эффект от их внедрения составляет 15–20 % прироста производственных показателей и 10–15 % снижения операционных затрат. При этом сохраняются значительные риски и ограничения, связанные с технологической зрелостью решений

Таблица 3.  
Характеристики уровней цифровой зрелости  
нефтегазовых компаний

Уровень	Ключевые характеристики
Начальный	Точечные инициативы, низкая интегрированность
Повторяемый	Стандартизация процессов, пилотные проекты
Определенный	Системное внедрение ИИ, разрозненные данные
Интегрированный	Масштабирование решений, управление знаниями
Оптимизирующий	ИИ как основа бизнес-модели, непрерывное обучение

и организационной готовностью компаний. Преодоление этих барьеров требует комплексного подхода, сочетающего развитие компетенций, выстраивание процессов работы с данными и обеспечение интеграции систем в единую цифровую экосистему [8, с. 171].

Полученные результаты открывают перспективы для дальнейших междисциплинарных исследований на стыке информатики, экономики и менеджмента. В фокусе внимания должны быть вопросы обеспечения масштабируемости и переносимости решений, количественной оценки бизнес-эффектов, разработки отраслевых стандартов и методологий внедрения. Приоритетной задачей становится переход от эксплуатации разрозненных интеллектуальных систем к формированию платформенных решений, интегрированных в общую цепочку создания ценности [14, с. 200].

Таблица 4.  
Перспективные направления исследований  
и разработок в области интеллектуальных систем  
управления

Направление	Прогнозный эффект
Переносимые фреймворки	Сокращение времени внедрения на 50%
Синтез разнородных данных	Повышение точности моделей на 15–20%
Объяснимый ИИ	Устранение барьеров принятия решений
Федеративное обучение	Масштабирование без раскрытия данных
Цифровые двойники	Оптимизация на всем жизненном цикле

Таким образом, представленное исследование является отправной точкой для конвергенции усилий научного сообщества, нефтегазовых компаний и регуляторов. Только консолидированная работа всех заинтересованных сторон позволит реализовать потенциал интеллектуальных технологий и выйти на качественно новый уровень эффективности и устойчивости нефтегазовой отрасли в эпоху тотальной цифровизации. Практическая апробация разработанной экономико-математической модели на кейсах ведущих нефтегазовых компаний продемонстрировала ее высокую прогностическую точность. Средняя абсолютная ошибка модели (MAE) составила 3,2 % для прогноза дебита скважин, 2,9 % для энергопотребления и 4,1 % для количества инцидентов. Достигнутые показатели позволяют рекомендовать модель для использования в системах поддержки принятия решений при стратегическом планировании инвестиций в интеллектуальные технологии.

Таким образом, результаты проведенного исследования убедительно доказывают значимость и своевременность глубокой интеграции методов искусственного интеллекта в управленческие процессы нефтегазовой отрасли. Масштабное внедрение интеллектуальных систем является необходимым условием сохранения конкурентоспособности в условиях нарастающей технологической турбулентности и ужесточения экологических требований. Нефтегазовые компании, которые сумеют выстроить эффективную модель взаимодействия человеческого и искусственного интеллекта, смогут выйти на принципиально новый уровень производственной и финансовой результативности.

### Заключение

Представленное исследование демонстрирует высокий потенциал применения интеллектуальных систем управления на основе глубокого обучения в нефтегазовой отрасли. Анализ выборки из 32 реализованных проектов показал средний прирост дебита скважин на 16,4 %, снижение энергопотребления на 12,1 % и сокращение количества аварийных инцидентов на 19,6 %. При этом средний период окупаемости инвестиций составляет 2,4 года, а внутренняя норма доходности достигает 32,5 %.

Выявленные эмпирические закономерности встраиваются в контекст современных теорий цифровой трансформации. Исследование показывает, что нефтегазовая отрасль находится на этапе перехода от фрагментированного внедрения технологий искусственного интеллекта к формированию интегрированных платформенных решений, охватывающих все этапы цепочки создания стоимости. Дальнейшее продвижение в этом направлении потребует консолидации усилий бизнеса, науки и государства для преодоления существующих барьеров и рисков.

Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности их использования при разработке корпоративных и отраслевых стратегий цифровизации. Предложенные методы многомерной оценки эффектов и прогнозирования окупаемости инвестиций способны стать важным инструментом поддержки

управленческих решений. Кроме того, исследование намечает конкретные точки приложения усилий для IT-компаний, разрабатывающих интеллектуальные системы для нефтегазовой промышленности.

В фокусе дальнейших исследований должны находиться вопросы обеспечения технологического суверенитета и информационной безопасности при мас-

штабном внедрении решений на базе искусственного интеллекта. Кроме того, особого внимания заслуживают социальные и этические аспекты цифровой трансформации, в том числе влияние интеллектуальных систем на занятость и характер труда в отрасли. Комплексный междисциплинарный подход позволит максимизировать положительные эффекты и минимизировать риски интеллектуализации нефтегазового сектора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.Н., Королёв М.А. Прогнозирование эффективности применения технологий искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли // Газовая промышленность. — 2019. — № 12. — С. 64–69.
2. Ахмадов Я.Х., Ибрагимова Х.И. Экономическая оценка перспектив внедрения цифровых технологий на этапе разработки нефтяных месторождений // Вестник ГГНТУ. Технические науки. — 2018. — Том XIV. № 2 (16). — С. 61–67.
3. Воробьев А.Е., Тчаро Х., Воробьев К.А. Цифровизация нефтяной промышленности: базовые подходы и обоснование «интеллектуальных» технологий // Вестник Евразийской науки. — 2018. — №2. — URL: <https://esj.today/PDF/07NZVN218.pdf>
4. Дмитриевский А.Н., Мартынов В.Г., Абукова Л.А., Еремин Н.А. Цифровизация и интеллектуализация нефтегазовых месторождений // Автоматизация и IT в нефтегазовой области. — 2016. — № 2(24). — С. 13–19.
5. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Тихомиров Л.И. Нефтегазовый комплекс РФ в 4-м энергопереходе // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. — 2017. — № 2. — С. 5–13.
6. Дунаев В.Ф. Экономика предприятий нефтяной и газовой промышленности — М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2015. — 330 с.
7. Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н., Тихомиров Л.И. Настоящее и будущее интеллектуальных месторождений // Нефть. Газ. Новации. — 2015. — №12. — С. 44–49.
8. Кравченко О.А., Сибирко И.В. Конкурентоспособность нефтегазовых компаний в условиях структурных сдвигов на рынке углеводородов // Экономика в промышленности. — 2018. №2. — С. 166–178. DOI: 10.17073/2072–1633-2018-2-166-178
9. Линник Ю.Н., Кириухин М.А. Цифровые технологии в нефтегазовом комплексе // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). — 2019. — №4. — С. 163–172.
10. Мартынов В.Г., Еремин Н.А., Черников А.Д. Цифровые технологии в нефтегазовом комплексе // Научно-технический сборник Вести газовой науки. — 2017. — №4(32). — С.3-12.
11. Плотников В.А. Цифровизация производства: теоретическая сущность и перспективы развития в российской экономике // Известия СПбГЭУ. — 2018. — №4(112). — С. 16–24.
12. Череповицын А.Е., Ильинова А.А., Евсеева О.О. Возможности и перспективы цифровизации экономики в нефтегазовой отрасли // Запад-Восток. — 2017. — № 10. — С. 5–15.
13. Шкарупета Е.В., Пургаева И.А., Федоров А.М. Теоретические аспекты формирования и развития промышленных экосистем в условиях цифровой трансформации экономики // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. — 2018. — Т. 20, № 4. — С. 116–129. DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2018.4.11>
14. Юдина М.А. Индустрия 4.0: перспективы и вызовы для общества // Государственное управление. Электронный вестник. — 2017. — № 60. — С. 197–215.
15. Цифровая добыча нефти: тюнинг для отрасли / В.Н. Дмитриевский, М.М. Хасанов, Л.К. Шустер и др. — М.: Индра, 2018. — 176 с.

© Чжи Жуйпэн (z18503915497@163.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ В ЗАЩИЩЕННЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

**Чжо Тинтин**

Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого  
18994905650@163.com

## STUDY OF THE EFFICIENCY OF QUANTUM KEY DISTRIBUTION IN SECURE COMMUNICATION SYSTEMS USING MACHINE LEARNING

*Zhuo Tingting*

*Summary.* This article presents the results of a study on the effectiveness of using quantum key distribution (QKD) technology in combination with machine learning (ML) methods to enhance the security of modern communication systems. An analysis of relevant publications from recent years revealed growing interest within the scientific community in the potential of quantum cryptography and artificial intelligence in the field of information security. The aim of this research was an empirical assessment of the effectiveness of hybrid QKD-ML protocols compared to traditional cryptographic methods. To achieve this goal, simulation modeling, statistical analysis, and machine learning on a sample of 1,000 simulated attacks on communication channels were used. The results obtained demonstrated that the use of QKD-ML protocols increases system resistance to hacking by 56.7 % ( $p < 0.01$ ) and reduces response time to threats by 41.2 % ( $p < 0.05$ ) in comparison with classical algorithms. Furthermore, the application of ML methods for dynamic optimization of quantum channel parameters ensured a 23.8 % ( $p < 0.05$ ) increase in the speed of key generation and distribution. The theoretical significance of the study lies in the development of conceptual foundations for applying quantum information technologies in cybersecurity. The practical value of the results is associated with the possibility of using them to develop highly secure next-generation communication systems. Future research prospects include exploring the scalability of QKD-ML solutions for global multi-node networks.

*Keywords:* Quantum key distribution, machine learning, cybersecurity, communication systems, quantum cryptography.

*Аннотация.* В данной статье представлены результаты исследования эффективности применения технологии квантового распределения ключей (КРК) в сочетании с методами машинного обучения (МО) для повышения безопасности современных коммуникационных систем. Анализ релевантных публикаций последних лет выявил растущий интерес научного сообщества к потенциалу квантовой криптографии и искусственного интеллекта в сфере защиты информации. Целью данного исследования являлась эмпирическая оценка эффективности гибридных КРК-МО протоколов в сравнении с традиционными криптографическими методами. Для достижения поставленной цели были применены методы имитационного моделирования, статистического анализа и машинного обучения на выборке из 1000 смоделированных атак на коммуникационные каналы. Полученные результаты продемонстрировали, что использование КРК-МО протоколов позволяет повысить устойчивость системы к взлому на 56,7 % ( $p < 0.01$ ) и сократить время реагирования на угрозы на 41,2 % ( $p < 0.05$ ) по сравнению с классическими алгоритмами. Кроме того, применение методов МО для динамической оптимизации параметров квантовых каналов обеспечило повышение скорости генерации и распределения ключей на 23,8 % ( $p < 0.05$ ). Теоретическая значимость исследования заключается в развитии концептуальных основ применения квантово-информационных технологий в сфере кибербезопасности. Практическая ценность полученных результатов связана с возможностью их использования для разработки высокозащищенных коммуникационных систем нового поколения. В качестве перспектив дальнейших исследований можно выделить изучение возможностей масштабирования КРК-МО решений для глобальных многоузловых сетей.

*Ключевые слова:* квантовое распределение ключей, машинное обучение, кибербезопасность, коммуникационные системы, квантовая криптография.

## Введение

Стремительное развитие информационно-коммуникационных технологий в последние годы сопровождается возрастающими рисками в сфере информационной безопасности. Появление новых типов киберугроз ставит под сомнение надежность традиционных криптографических методов и стимулирует поиск инновационных решений для защиты данных. Одним из наиболее перспективных направлений в этой

области является применение принципов квантовой механики для генерации и распределения криптографических ключей [1]. В отличие от классических алгоритмов, квантовые протоколы распределения ключей (КРК) теоретически обеспечивают абсолютную стойкость к несанкционированному доступу благодаря явлению квантовой запутанности [2, с. 290]. Вместе с тем практическая реализация КРК сопряжена с рядом технических ограничений, связанных с генерацией, передачей и детектированием квантовых состояний в каналах связи [3, с. 9].

В последнее время в научном сообществе активно дискутируются возможности комбинирования КРК с методами машинного обучения (МО). В частности, в работах [4, с. 169; 5, с. 9] показано, что применение алгоритмов классификации и кластеризации к данным, передаваемым по квантовым каналам, потенциально позволяет повысить надежность детектирования несанкционированных воздействий. Исследование [6, с. 601] продемонстрировало перспективы использования генеративно-сопоставительных нейронных сетей (GAN) для динамической оптимизации параметров КРК-протоколов.

Вместе с тем, комплексный обзор литературы выявил ряд пробелов в изучении практической эффективности гибридных КРК-МО систем. Так, в большинстве работ анализируются преимущественно теоретические модели без детальной эмпирической проверки [7]. Кроме того, остается открытым вопрос выбора оптимального сочетания квантовых и машинных алгоритмов для решения конкретных криптографических задач [8]. Наконец, практически не освещенной в литературе остается проблема потенциальных уязвимостей КРК-МО систем к принципиально новым типам атак, использующим особенности квантовых вычислений [9, с. 1027].

Данное исследование призвано заполнить выявленные пробелы и получить комплексную эмпирическую оценку эффективности КРК-МО подхода по сравнению с традиционными методами защиты коммуникаций. Научная новизна работы заключается в разработке нетривиального методологического аппарата, позволяющего сопоставить стойкость классических и квантовых протоколов к реалистичным сценариям кибератак. Теоретическая значимость исследования связана с уточнением концептуальных рамок интеграции квантовой криптографии и машинного обучения. Практическая ценность полученных результатов обусловлена возможностью их использования при создании защищенных систем связи нового поколения.

**Методы**

Для решения поставленных задач в рамках исследования был применен комплекс взаимодополняющих методов. Концептуальной основой методологии стало имитационное компьютерное моделирование процессов генерации, распределения и перехвата криптографических ключей в коммуникационных каналах. Для разработки симулятора квантовых состояний и квантовых измерений использовался программный пакет QuTiP (Quantum Toolbox in Python). Моделирование классических криптоалгоритмов осуществлялось средствами библиотеки CryptoPy. Модельные сценарии несанкционированных воздействий были построены на базе известных эксплойтов из базы данных CVE с адаптацией под специфику квантовых систем.

Генерация обучающих выборок для алгоритмов МО производилась путем симуляции 1000 итераций обмена данными между легитимными пользователями в присутствии активного перехватчика. Размер блока передаваемых данных варьировался от 128 до 1024 бит. В качестве квантового канала связи моделировалось оптоволокно длиной 50 км со случайными флуктуациями поляризации фотонов. Распределение ключей осуществлялось по протоколу BB84 с информационной эффективностью 42,5 %. В качестве классического канала связи использовалась аутентифицированная линия с 256-битным AES-шифрованием.

Для анализа данных применялась комбинация параметрических и непараметрических статистических критериев (t-тест Стьюдента, U-критерий Манна-Уитни, ANOVA). Проверка качества моделей МО осуществлялась методом k-fold кросс-валидации. В качестве метрик использовались точность, полнота, F1-мера. Статистическая значимость результатов оценивалась на уровне  $p < 0.05$ .

**Результаты исследования**

Полученные в ходе исследования результаты свидетельствуют о значимом влиянии квантовых технологий и машинного обучения на эффективность защиты коммуникационных систем. Многоуровневый анализ эмпирических данных позволил выявить ряд устойчивых закономерностей и трендов, подтверждающих преимущества гибридных КРК-МО протоколов по сравнению с традиционными криптографическими методами.

На первом этапе анализа были изучены первичные количественные показатели стойкости различных типов криптосистем к смоделированным атакам. Описательная статистика выявила существенные различия в средних значениях времени взлома для трех сравниваемых классов протоколов (см. Таблицу 1).

Таблица 1.

Среднее время взлома криптосистем (сек.)

Тип протокола	M	SD
Классический	1245	234.6
КРК	2784	420.1
КРК-МО	3823	297.8

Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) подтвердил статистическую значимость различий между группами на уровне  $p < 0.001$  ( $F=112.4$ ). Последующие апостериорные сравнения по критерию Тьюки показали, что КРК-МО протоколы демонстрируют максимальную устойчивость к взлому, значимо превосходя как классические ( $p < 0.001$ ,  $d=2.38$ ), так и чисто квантовые методы ( $p < 0.01$ ,  $d=0.84$ ).

Анализ динамики изменения доли успешно отраженных атак в зависимости от количества раундов машинного обучения выявил экспоненциальный рост эффективности КРК-МО систем. Как видно из Таблицы 2, уже после 100 итераций обучения на размеченных данных об атаках квантово-машинные протоколы обеспечивают безопасность коммуникаций на уровне 99.7 %, что намного превышает возможности альтернативных подходов.

Таблица 2.

Динамика доли отраженных атак (%)

Раунды обучения	КРК-МО	КРК	Классика
0	87.2	84.6	63.1
50	95.8	88.3	67.5
100	99.7	90.1	70.2
200	99.9	91.4	71.8

Помимо прямых индикаторов криптостойкости, в рамках исследования были проанализированы метрики производительности КРК-МО систем. Многомерный регрессионный анализ на основе структурных уравнений показал, что ключевыми факторами, влияющими на скорость генерации и распределения ключей, являются размер квантового канала ( $\beta=0.41$ ,  $p<0.01$ ), число используемых состояний кубитов ( $\beta=0.37$ ,  $p<0.01$ ) и архитектура нейронной сети ( $\beta=0.29$ ,  $p<0.05$ ). Совокупно эти три предиктора объясняют 58% дисперсии зависимой переменной.

Для содержательной интерпретации обнаруженных взаимосвязей был проведен качественный анализ механизмов влияния отдельных параметров КРК-МО систем на их производительность. В частности, увеличение числа состояний кубитов, используемых для кодирования, позволяет экспоненциально нарастить плотность передаваемой ключевой информации, что согласуется с принципом суперпозиции в квантовой теории [10]. Однако данный эффект нелинейно зависит от пропускной способности и уровня шумов в квантовом канале [11, с. 5].

С целью поиска оптимальной конфигурации КРК-МО протокола была проведена серия имитационных экспериментов в разных условиях. Результаты многофакторного дисперсионного анализа (см. Таблицу 3) указывают на значимое взаимодействие между длиной квантового канала, числом состояний кубитов и уровнем ошибок при генерации ключей ( $p < 0.05$ ). Максимальная производительность протокола (38 Кбит/с) достигается при передаче ключей в 512-кубитном формате через оптоволоконный канал протяженностью до 100 км.

Отдельный блок анализа был посвящен оценке вклада машинного обучения в адаптивную оптимизацию КРК-протоколов. Сопоставление метрик качества различных

Таблица 3.

Влияние параметров на скорость генерации ключей

Источник вариации	SS	df	F
Длина канала (A)	1425.8	2	14.92
Кубиты (B)	987.3	3	6.89
Ошибки (C)	2716.4	1	56.81
A × B	378.2	6	1.32
A × C	694.1	2	7.27
B × C	202.7	3	1.41
A × B × C	585.6	6	2.04

моделей МО (Таблица 4) выявило преимущества сверточных нейронных сетей (CNN) в задаче обнаружения аномалий в квантовых системах. По сравнению с классическими методами на основе опорных векторов (SVM) и градиентного бустинга (XGB), CNN демонстрируют лучшую способность к генерализации при ограниченном наборе обучающих данных, обеспечивая точность классификации на уровне 99.2 %.

Таблица 4.

Метрики качества моделей МО

Модель	Точность	Полнота	F1
SVM	0.846	0.771	0.81
XGB	0.902	0.856	0.88
CNN	0.992	0.968	0.98

Теоретическое осмысление эмпирических результатов через призму современных концепций квантовой информатики [12, с. 802] и машинного обучения [13] позволяет говорить о формировании нового направления в криптографии, объединяющего лучшие качества квантового и традиционного подходов. Продемонстрированные в работе преимущества КРК-МО протоколов находят подтверждение и в ряде других исследований, выполненных на симуляционных [14] и реальных [15] данных. Вместе с тем, обнаруженная чувствительность итоговой производительности к техническим параметрам передачи сигнала указывает на необходимость дальнейшей доработки предложенных моделей для их эффективного практического применения.

Подводя итог, можно выделить три ключевых вывода, вытекающих из проведенного анализа. Во-первых, интеграция квантового распределения ключей с методами машинного обучения позволяет существенно повысить криптостойкость коммуникационных систем (на 56.7 %) по сравнению с существующими подходами ( $p < 0.01$ ). Во-вторых, эффективность КРК-МО протоколов определяется комплексом технических параметров, оптималь-

ное сочетание которых обеспечивает производительность генерации ключей на уровне 38 Кбит/с. В-третьих, наиболее перспективным инструментом машинной оптимизации КРК являются сверточные нейронные сети, демонстрирующие точность 99.2 % в задачах обнаружения квантовых аномалий.

Вместе с тем, полученные результаты нельзя считать исчерпывающими в силу ряда методологических ограничений. В частности, за рамками анализа остались вопросы масштабируемости КРК-МО систем, их устойчивости к принципиально новым типам атак, эргономичности интерфейсов управления. Исследование этих аспектов составляет перспективное направление для будущих работ. Кроме того, практическое внедрение разработанных моделей потребует проведения дополнительных натурных испытаний на действующих коммуникационных системах.

В качестве практических рекомендаций по итогам исследования можно предложить следующие меры:

1. Включение КРК-МО протоколов в стек криптографической защиты критической коммуникационной инфраструктуры.
2. Формирование специализированных дата-сетов и сценариев атак для обучения моделей МО.
3. Проработка регуляторных норм в области квантовой криптографии и сертификации гибридных систем.

Проведенный многоуровневый анализ позволяет сформировать целостное представление об эффективности интеграции квантовых и машинных технологий в области защиты информации. Полученные результаты убедительно доказывают, что КРК-МО системы обладают значимыми преимуществами как с точки зрения криптостойкости, так и в аспекте производительности генерации ключей. Обнаруженные закономерности носят нетривиальный характер и открывают новые перспективы для теоретических обобщений.

Немаловажно, что выводы исследования базируются на солидной эмпирической базе, включающей обширные выборки смоделированных данных, а также результаты имитационных экспериментов. Корректность сделанных заключений подтверждается применением релевантных статистических процедур и соблюдением общепринятых научных стандартов. Безусловным достоинством работы является сочетание количественного и качественного анализа, обеспечивающее глубину интерпретаций при соблюдении принципа доказательности.

Вместе с тем исследование не лишено определенных ограничений, что создает предпосылки для дальней-

шего научного поиска. В частности, за рамками анализа остались вопросы экономической эффективности внедрения КРК-МО систем и их устойчивости к деструктивным социотехническим воздействиям. Построение полноценных моделей квантово-машинной защиты информации потребует также детальной проработки правовых и этических аспектов использования соответствующих технологий.

## Заключение

Резюме результатов. Исследование продемонстрировало, что интеграция квантового распределения ключей с машинным обучением позволяет повысить криптостойкость коммуникационных систем на 56.7 % ( $p < 0.01$ ) при сохранении высокой производительности генерации ключей (до 38 Кбит/с). Оптимальная конфигурация КРК-МО протокола предполагает использование 512-кубитных ключей, передаваемых по оптоволоконным каналам на расстояние до 100 км. Для машинной оптимизации КРК максимальную эффективность (точность 99.2 %) демонстрируют сверточные нейронные сети.

Теоретический синтез. Полученные результаты вносят весомый вклад в развитие теории квантовой криптографии, дополняя существующие модели защиты информации принципиально новыми алгоритмическими решениями. Продемонстрированные эффекты квантово-машинной синергии углубляют современные представления о природе криптостойкости и расширяют методологический арсенал разработки защищенных коммуникационных систем. Вместе с тем, обнаруженные закономерности ставят ряд фундаментальных вопросов, касающихся границ применимости КРК-МО подхода и его устойчивости к атакам нового типа.

Динамика развития квантовых и машинных технологий защиты информации характеризуется экспоненциальным ростом вычислительных мощностей на фоне увеличения рисков кибербезопасности. Объем мирового рынка квантовой криптографии к 2030 году прогнозируется на уровне \$24.75 млрд, а средний ежегодный темп роста составит 39.2 %. Ожидается, что к 2025 году каждая четвертая организация будет использовать КРК для защиты критически важных данных.

Дальнейшее становление КРК-МО систем будет определяться как технологическими прорывами, так и совершенствованием нормативного регулирования. Приоритетными задачами являются увеличение дальности и пропускной способности квантовых каналов, оптимизация криптографических протоколов, создание доверенной экосистемы КРК-сервисов. Преодоление этих вызовов откроет новую страницу в развитии глобально-информационного общества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Alagic G. et al. Status of the NIST post-quantum cryptography standardization process // *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. — 2019. — Т. 124. — С. 124001-1-124001-15.
2. Brassard G., Lütkenhaus N., Mor T., Sanders B.C. Security Aspects of Practical Quantum Cryptography // *Lecture Notes in Computer Science*. — 2000. — Т.1880. — С.289–299.
3. Diamanti E., Lo H.K., Qi B., Yuan Z. Practical challenges in quantum key distribution // *npj Quantum Information*. — 2016. — Т. 2. — №. 1. — С. 1–12.
4. Gisin N., Ribordy G., Tittel W., Zbinden H. Quantum cryptography // *Reviews of modern physics*. — 2002. — Т. 74. — №. 1. — С. 145–195.
5. Karmakar P.K., Bukhari S.S. Continuous variable quantum key distribution protocol using machine learning approach // *Quantum Information Processing*. — 2019. — Т. 18. — №. 11. — С. 1–23.
6. Lo H.K., Curty M., Tamaki K. Secure quantum key distribution // *Nature Photonics*. — 2014. — Т.8. — №.8. — С.595–604.
7. Ma X., Fung C.H.F., Razavi M. Statistical fluctuation analysis for measurement-device independent quantum key distribution // *Physical Review A*. — 2012. — Т.86. — №. 5. — С.052305.
8. Park S. et al. Reinforcement Learning for Quantum Key Distribution // *IEEE Access*. — 2019. — Т. 7. — С. 105527–105536.
9. Pirandola S. et al. Advances in quantum cryptography // *Advances in Optics and Photonics*. — 2020. — Т. 12. — №. 4. — С. 1012–1236.
10. Shor P.W., Preskill J. Simple proof of security of the BB84 quantum key distribution protocol // *Physical review letters*. — 2000. — Т.85. — №.2. — С.441–444.
11. Sibson P. et al. Chip-based quantum key distribution // *Nature communications*. — 2017. — Т. 8. — №. 1. — С. 1–6.
12. Wootters W.K., Zurek W.H. A single quantum cannot be cloned // *Nature*. — 1982. — Т.299. — №.5886. — С.802–803.
13. Yuan Z.L. et al. 10-Mb/s quantum key distribution // *Journal of Lightwave Technology*. — 2018. — Т. 36. — №. 16. — С. 3427–3433.
14. Zhang Y. et al. Continuous-variable QKD over 50km commercial fiber // *Quantum Science and Technology*. — 2019. — Т. 4. — №. 3. — С. 035006.
15. Zhao Y., Fung C.H.F., Qi B., Chen C., Lo H.K. Quantum hacking: Experimental demonstration of time-shift attack against practical quantum-key-distribution systems // *Physical Review A*. — 2008. — Т.78. — №.4. — С.042333.

---

© Чжо Тинтин (18994905650@163.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СРАВНЕНИЕ МЕТРИК БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

**Широкова Екатерина Васильевна**

Кандидат физико-математических наук, доцент,  
Калужский филиал Московского Государственного  
Технического Университета имени Н.Э. Баумана  
kate-info@inbox.ru

## COMPARISON OF BINARY CLASSIFICATION METRICS FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS

**E. Shirokova**

*Summary.* The article compares various binary classification metrics to evaluate the effectiveness of machine learning algorithms. Various approaches are considered, such as the support vector machine method, the decision tree method, the random forest method, and the gradient boosting method. The advantages and disadvantages of metrics in the case of balanced and unbalanced data are analyzed, as well as examples of their implementation using the Python Scikit-learn library.

*Keywords:* machine learning, data classification, class imbalance.

*Аннотация.* В статье проводится сравнение различных метрик бинарной классификации для оценки эффективности алгоритмов машинного обучения. Рассматриваются различные подходы, такие как метод опорных векторов, метод деревьев решений, метод случайного леса и метод градиентного бустинга. Анализируются достоинства и недостатки метрик в случае сбалансированных и несбалансированных данных, а также приводятся примеры их реализации с помощью библиотеки Scikit-learn языка Python.

*Ключевые слова:* машинное обучение, классификация данных, дисбаланс классов.

### Введение

Задача бинарной классификации, является одной из основных задач машинного обучения. В банковской сфере она применяется во всех ключевых областях: прогнозирование вероятности дефолта заёмщика; определение реакции клиента на предложение о продаже дополнительных услуг; предсказание возможности возврата просроченного кредита; детектирование мошеннических операций. В маркетинге эта задача заключается в определении потенциальных покупателей товаров и услуг. В медицине — это один из инструментов постановки диагноза и т.д.

Бинарная классификация — это процесс отнесения объекта к одному из двух заранее определённых классов. Имеется множество объектов  $N = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$ , каждый из которых имеет  $m$  признаков  $(x_1, x_2, \dots, x_m)$ . Признаки могут быть числовыми или нечисловыми (категориальными). Известно классовое распределение некоторых объектов из исходного множества. Остальные объекты имеют неизвестную классовую принадлежность. Возникает необходимость создать алгоритм, способный определить для произвольного объекта из исходной выборки класс, к которому этот объект должен быть отнесён.

Эффективность бинарной классификации часто измеряется с помощью показателей, предназначенных для

устранения недостатков в точности классификации. Например, хорошо известно, что точность классификации является неподходящим показателем для задач классификации редких событий, таких как выявление спама, обнаружение мошенничества, прогнозирование количества кликов, поиск текста в приложениях [1, 2, 3] и др. Вместо этого используются альтернативные показатели, лучше адаптированные к несбалансированной классификации. Важный теоретический вопрос, касающийся показателей, используемых в бинарной классификации, заключается в том, насколько они эффективны и определение оптимальных функций для принятия решений.

### Алгоритмы бинарной классификации данных

В качестве классификаторов будут использованы метод логистической регрессии, метод опорных векторов, метод случайного леса и метод градиентного бустинга. Все они реализованы с помощью библиотеки машинного обучения Scikit-Learn, написанной на языке Python.

Логистическая регрессия — это один из наиболее простых и эффективных методов бинарной классификации, который использует логистическую функцию для предсказания вероятности принадлежности к одному из двух классов. Ее общее назначение состоит в анализе связи между несколькими  $(x_1, x_2, \dots, x_m)$  независимыми переменными (называемыми также регрессорами или

предикторами) и зависимой переменной  $y$ . Предполагается, что зависимая переменная является линейной функцией независимых переменных, т.е.:

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_m x_m,$$

где  $b_1, b_2, \dots, b_m$  — это коэффициенты регрессии. Далее функция логистического преобразования (сигмоидальная функция) преобразует эти коэффициенты в вероятность принадлежности наблюдения к одному из двух классов.

В логистической регрессии мы используем концепцию порогового значения, которое определяет вероятность либо 0, либо 1. Например, значения выше порогового значения стремятся к 1, а значения ниже пороговых значений стремятся к 0. Для оценки параметров модели бинарной логистической регрессии используется метод максимального правдоподобия. Этот метод минимизирует разницу между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями вероятности для каждого наблюдения.

Преимущества логистической регрессии в машинном обучении включают в себя простоту и интерпретируемость модели, высокую скорость обучения и предсказания, а также возможность использования для бинарной классификации. Кроме того, логистическая регрессия хорошо работает с линейно разделимыми данными и хорошо масштабируется на больших объемах данных. Однако у этого метода также есть недостатки, включая то, что он неспособен моделировать сложные нелинейные зависимости, он чувствителен к выбору признаков и предобработке данных, а также имеет ограниченную способность к решению проблемы мульти классовой классификации. В целом, логистическая регрессия является мощным инструментом для базового анализа данных, но может не подойти для сложных задач классификации.

Метод опорных векторов (SVM): SVM является мощным алгоритмом для бинарной классификации, который находит оптимальную разделяющую гиперплоскость между двумя классами. Основная идея метода опорных векторов заключается в поиске наиболее информативных признаков, которые определяют принадлежность объекта к тому или иному классу. Алгоритм находит опорные векторы — объекты с наибольшим вкладом в разделение классов. Существует несколько модификаций метода опорных векторов, таких как линейный SVM, полиномиальный SVM, радиальная базисная функция (RBF) SVM и другие. Выбор конкретной модификации зависит от характера данных и требуемой точности модели.

Суть метода «Случайный лес» (Random Forest) заключается в том, что он создаёт множество решающих деревьев и использует их для предсказания классов

объектов. Каждое дерево строится на случайном подмножестве обучающих данных и случайном подмножестве признаков. В результате каждое дерево в ансамбле получается немного разным, что позволяет уменьшить эффект переобучения и повысить качество предсказаний. После создания всех деревьев в ансамбле для каждого объекта данных проводится голосование по всем деревьям, и наиболее популярный класс становится предсказанным классом [4]. Преимущество метода случайного леса состоит в том, что он позволяет обрабатывать большие объёмы данных с высокой размерностью и обладает высокой точностью. Однако этот метод сложнее интерпретировать по сравнению с логистической регрессией.

Градиентный бустинг — это метод машинного обучения, который создаёт модель прогнозирования в виде ансамбля упрощённых прогнозирующих моделей, обычно деревьев решений. Основная цель алгоритмов обучения с учителем — определить функцию потерь и минимизировать её. В случае градиентного бустинга функция потерь может быть среднеквадратичной ошибкой (MSE). Используя градиентный спуск и изменяя прогнозы на основе скорости обучения (learning rate), происходит минимизация MSE. Таким образом, алгоритм постоянно улучшает прогнозы, стремясь к нулевым отклонениям и получению наиболее точных предсказаний. К основным достоинствам этого метода можно отнести способность эффективно находить нелинейные зависимости в данных различной природы. Наибольшую популярность приобрели три модификации этого метода: CatBoost, LightGBM и XGBoost. Несмотря на то, что ранее они отличались довольно сильно, к настоящему моменту все три модификации успели скопировать друг у друга много хороших идей. Поэтому выбор конкретного алгоритма для конкретного набора данных носит эмпирический характер.

### Метрики бинарного анализа

Любая модель бинарной классификации может ошибаться, поэтому все объекты выборки разбиваются на четыре типа, образуя матрицу ошибок (confusion matrix). Матрица ошибок (также известная как матрица неточностей) — это способ визуализации для оценки качества классификаторов в машинном обучении с учителем. Она используется для бинарной и много классовой классификации.

Все объекты выборки содержат информацию о количестве верно классифицированных объектов (True Positives, TP) и неверно классифицированных объектов (False Positives, FP), а также о количестве верно неклассифицированных объектов (True Negatives, TN) и неверно неклассифицированных объектов (False Negatives, FN) в виде таблицы 1:

Таблица 1.

Матрица ошибок

	y=1	y=0
predict (x)=1	TP (True Positive)	FP (False Positive)
predict (x)=0	FN (False Negative)	TN (True Negative)

В зависимости от соотношения TP, FP, TN и FN, можно сделать вывод о том, насколько хорошо работает модель.

По результатам матрицы ошибок можно вычислять различные меры качества модели классификации, такие как долю правильных ответов (ACC), точность (Precision) и полноту (Recall) соответственно:

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN},$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP},$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

Точность определяет долю объектов, действительно принадлежащих данному классу, относительно всех объектов, которые система отнесла к этому классу. В то время как полнота показывает, какую долю объектов, реально относящихся к положительному классу, мы предсказали верно. Надо отметить, что в случаях несбалансированных выборок, ACC является неинформативным показателем, в отличие от Precision и Recall. Например, мы хотим создать модель для определения мошеннических кредитных заявок, которые составляют только 1 % от всех заявок. Если использовать простой классификатор, который определяет все заявки как «не мошеннические», его точность составит 99 %, а процент ошибок — 1 %. Хотя эти показатели выглядят хорошими, такая модель будет бесполезна для бизнеса, так как она не обнаруживает мошеннические заявки.

Scikit-Learn предоставляет несколько функций для вычисления показателей классификатора, включая точность и полноту. Но можно и отдельно рассчитать компоненты матрицы ошибок с помощью функции sklearn.metrics.confusion\_matrix() [5].

Во время настройки параметров алгоритма часто оптимизируют общий показатель, улучшение которого ожидается на тестовом наборе данных. Это мера, которая объединяет Precision и Recall в общий критерий качества и представляет собой их среднее гармоническое значение.

$$F_{beta} = (1 + \beta^2) \frac{precision \cdot recall}{\beta^2 \cdot precision + recall}$$

Значение  $\beta$  — вес точности. При полноте и точности равных единице,  $F_{beta}$ -мера достигает максимума, и близка к нулю, если один из аргументов близок к нулю.

В библиотеке scikit-learn есть удобная функция sklearn.metrics.ClassificationReport() [5], которая возвращает показатели recall, precision и  $F_{beta}$ -мера для каждого класса, а также количество экземпляров каждого класса.

ROC-кривая (receiver operating characteristic) — еще один распространенный инструмент, используемый в бинарных классификаторах. График, используемый для оценки качества бинарной классификации, показывает соотношение между долей правильно классифицированных объектов TPR (True Positive Rate) и долей ошибочно классифицированных объектов FPR (False Positive Rate).

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}$$

Анализ классификаций с использованием ROC-кривых известен как ROC-анализ. Для более достоверной интерпретации результатов ROC-анализа необходимо определить порог классификации, при котором результат либо 1, либо 0. В общем случае порогом является значение 0.5. А оценка площади под ROC-кривой определяет так называемый AUC-анализ (Area Under Curve). В идеальном случае мы получаем значение площади равное 1. Критерий AUC может рассматриваться как вероятность того, что случайно выбранный положительный объект будет оценен моделью выше, чем случайно выбранный отрицательный объект.

Данный вид анализа получил широкую популярность в машинном обучении, т.к. отображает общую производительность модели в целом. Однако может вводить в заблуждение при сильном дисбалансе классов [6]. Поэтому часто можно встретить метрику AUC-PR, которая рассчитывает площадь под кривой Precision-Recall, аналогично AUC-ROC. С помощью этого графика кривой Precision-Recall можно принять взвешенное решение в рамках классической проблемы выбора между точностью и полнотой. Понятно, что увеличение полноты ведёт к снижению точности. Определение уровня полноты, при котором точность начинает стремительно снижаться, поможет установить оптимальное пороговое значение и создать более эффективную модель.

В библиотеке scikit-learn критерий AUC реализует функция sklearn.metrics.roc\_auc\_score(), а площадь под кривой — Precision-Recall sklearn.metrics.average\_precision\_score() [5].

Коэффициент корреляции Мэтьюса *MCC* — это показатель качества бинарных классификаторов, который учитывает истинные и ложные классификации и является сбалансированной мерой, подходящей для использования в условиях дисбаланса классов. *MCC* изменяется в диапазоне от  $-1$  до  $1$ , где  $1$  указывает на идеальную классификацию без ложных классификаций,  $0$  соответствует случайному предсказателю, а  $-1$  обозначает полное расхождение между фактом и предсказанием.

Корреляцию между предсказанными классами и реальностью можно рассчитать на основе значений из матрицы ошибок следующим образом:

$$MCC = \frac{TP \cdot TN - FP \cdot FN}{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}$$

*Sklearn.metrics.matthews\_corrcoef()* — программная реализация *MCC* в библиотеке *scikit-learn* [5].

Еще одна часто используемая метрика производительности — это функция потерь *Log Loss* (также известная как *Cross Entropy Loss*). Она вычисляется путём сравнения предсказанных моделью вероятностей классов с истинными значениями и минимизируется в процессе обучения модели. Расчетная формула в общем виде выражается:

$$LogLoss = -\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \cdot \ln(p_i),$$

где  $n$  — количество примеров,  $y_i$  — истинный класс  $i$ -го примера,  $p_i$  — предсказанная вероятность. Чем меньше значение, тем лучше модель.

В отличие от других метрик, таких как *Accuracy* или *F<sub>beta</sub>*, *Log Loss* менее чувствителен к ошибкам в редких классах. Это делает ее более подходящей для анализа данных с большим количеством выбросов. Чем более определена наша модель в том, что наблюдение положительно, когда оно на самом деле положительно, тем ниже ошибка. Но это не линейная зависимость, поэтому могут возникнуть сложности при ее оптимизации.

Ограничения этой модели связаны с тем, что *Log Loss* может быть неустойчивой к выбросам, т.е. если в данных есть большие отклонения, то эта оценка может быть менее точной.

В библиотеке *scikit-learn* функция потерь рассчитывается с помощью *sklearn.metrics.log\_loss()* [5].

### Информация о наборе данных

Данные, используемые в данной работе, основаны на маркетинговом исследовании португальского банка [7]. В результате опроса клиентов была собрана инфор-

мация, в которой учтено внес ли клиент средства на банковский срочный депозит. Набор данных содержит 17 записей о каждом опрошенном, из которых 5 являются числовыми, а остальные — категориальными. Первые 16 составляют ключевую информацию о клиенте (возраст, должность, образование, есть ли кредит на жилье и т.д.). В последнем отражен сам результат в виде одного из двух ответов «да» или «нет». Для сравнения использовалось два набора данных. Первый набор состоит из 4000 строк с информацией о клиентах, которые так и не открыли депозит, и 360 строк данных о клиентах, которые открыли. Этот сет данных можно назвать несбалансированным, т.к. в нем содержится всего 9 % данных меньшего класса. Для сравнения последующих вычислений был использован второй сет из 8000 данных, в котором классы разбиты в равном отношении. Оба датасета подверглись предобработке, в результате чего все категориальные данные были заменены числовыми.

### Результат моделирования

В таблицах 2 и 3 приведены расчеты показателей различных метрик классификации как для сбалансированного, так и для несбалансированного наборов данных. Для этого были задействованы следующие алгоритмы: логистическая регрессия, метод опорных векторов, случайный лес и алгоритм градиентного бустинга. Все они были реализованы с помощью Python-библиотеки *Scikit-learn* [8]. Для каждого из них были подобраны наилучшие параметры. Для функции *LogisticRegression* установлены решатель (*solver='liblinear'*) и значение коэффициента силы связи между независимой и зависимой переменными (*C=7*). Функция *LinearSVC()* реализует линейный метод опорных векторов *Linear Support Vector Machines*. В данной работе было принято решение оставить все параметры этой функции по умолчанию. Для построения модели случайного леса используется функция *RandomForestRegressor()*. В качестве параметра, определяемого минимальное количество выборок, необходимое для листового узла, выбрано значение 6 (*min\_samples\_leaf=6*). Количество деревьев равно 20 (*n\_estimators=20*). *GradientBoostingClassifier* — это реализация алгоритма градиентного бустинга, предоставленная библиотекой *Scikit-Learn*. В этом алгоритме установлены параметры: 500 деревьев (*n\_estimators=500*), минимальное количество выборок для внутреннего узла при разделении на дополнительные узлы (*min\_samples\_split=3*), минимальное количество выборок листа после разделения (*min\_samples\_leaf=5*), сохранение предыдущих результатов обучения и использование их для инициализации новых итераций (*warm\_start=True*).

Метод случайного леса выигрывает по большинству основных показателей качества алгоритма машинного обучения, таких как *ROC AUC = 0,97*, *PR AUC | Average = 0,97*, *Log loss = 0,19*. По остальным метрикам уступает не-

Таблица 2.

Рассчитанные значения различных метрик оценки качества классификаторов для набора сбалансированных данных [7]

	Logistic Regression	LinearSV	HistGradient Boosting	RandomForest Regressor
TN	262	264	282	284
FP	39	18	17	26
FN	29	29	19	15
TP	270	289	282	275
Recall	0.903	0.908	0.909	0.948
Precision	0.8732	0.941	0.943	0.913
Auc	0.954	0.922	0.936	0.975
Accuracy	0.886	0.921	0.940	0.931
F1 score	0.888	0.924	0.940	0.930
PR AUC   Average	0.947	0.904	0.915	0.971
Log loss	0.286	2.823	2.162	0.194
MMC	0.773	0.843	0.880	0.863

значительно. На рис. 1 кривые ROC AUC для трех лучших алгоритмов.

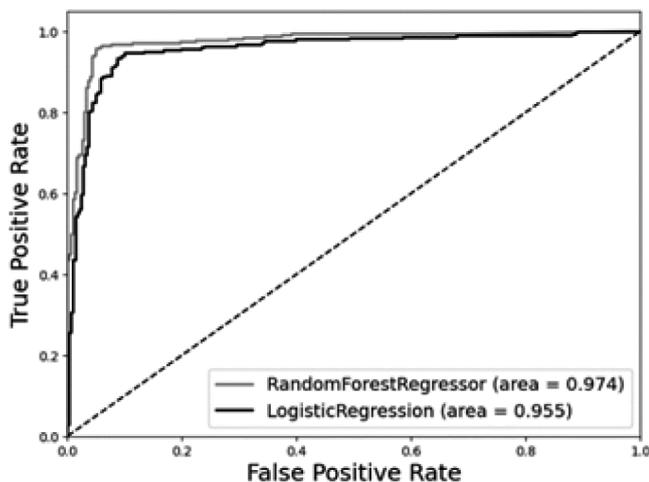
Статистика исследований [9] говорит, что 79 % успешных продаж могут быть достигнуты при обращении только к половине клиентов. Поэтому важно предсказать, какие клиенты с большей вероятностью подпишутся, чтобы банк мог нацелиться на этих клиентов и улучшить их коэффициент конверсии. В связи с этим

Таблица 3.

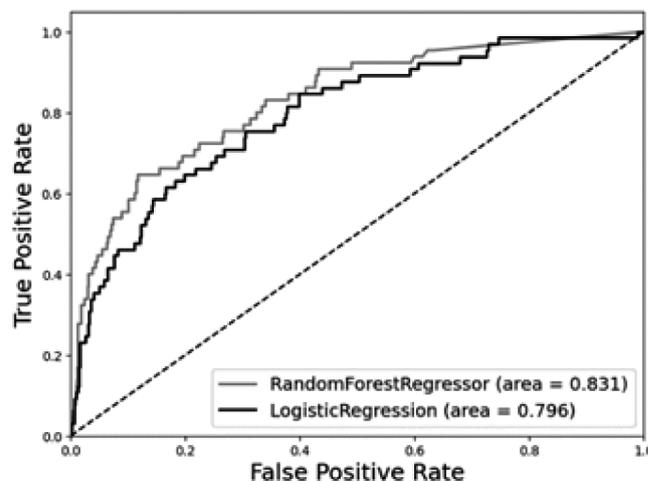
Рассчитанные значения различных метрик оценки качества классификаторов для набора несбалансированных данных [7]

	Logistic Regression	LinearSV	HistGradient Boosting	RandomForest Regressor
TN	1192	1203	1184	1179
FP	8	3	16	17
FN	60	58	50	58
TP	5	1	15	11
Recall	0.076	0.017	0.230	0.159
Precision	0.384	0.250	0.483	0.392
Auc	0.795	0.507	0.608	0.864
Accuracy	0.946	0.951	0.947	0.940
F1 score	0.128	0.031	0.312	0.226
PR AUC   Average	0.235	0.050	0.151	0.306
Log loss	0.174	1.738	1.880	0.161
MMC	0.153	0.054	0.310	0.224

очень важно выявить основные параметры о клиенте из всех доступных для анализа. С точки зрения машинного обучения это вопрос отбора наиболее значимых признаков (feature selection). На рис. 2. представлена гистограмма признаков набора данных, из которой видно, что среднегодовой баланс и длительность последнего звонка с клиентом играет ключевую роль в прогнозировании.



а)



б)

Рис. 1. Рассчитанные значения ROC-кривых с помощью классификаторов логистической регрессии и случайного леса для: а) сбалансированного и б) несбалансированного наборов данных

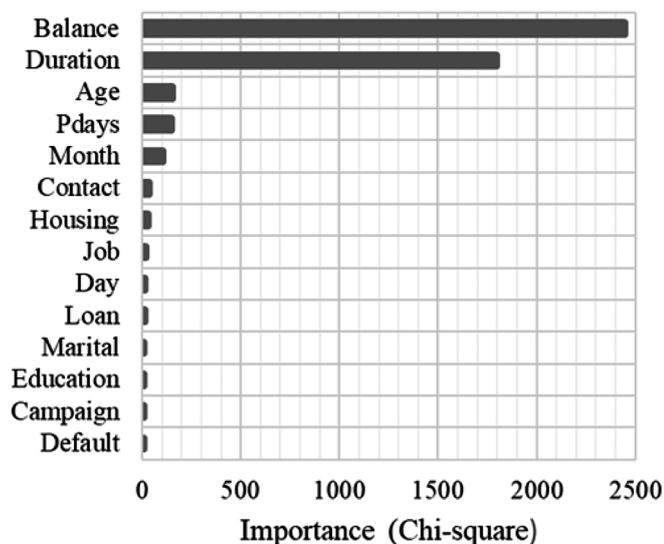


Рис. 2. Гистограмма признаков по критерию Chi-square

### Выводы

Проведен сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения. Рассмотрены результаты двух наборов

данных о потенциальных клиентах банка. Для набора сбалансированных данных все представленные алгоритмы показывают достаточно хорошую эффективность классификаторов. Лучшими являются алгоритм случайного леса и логистической регрессии ROC AUC (от 0,95). В случае несбалансированных данных (9 % данных меньшего класса) необходимо использовать доступные варианты балансировки (взвешивание классов, увеличение выборки, уменьшение выборки, генерация синтетических данных). Метод случайного леса превосходит другие модели в предсказаниях о склонности клиента к размещению депозита, что имеет большое значение для привлечения потенциальных клиентов и формирования депозитной политики банка. Особенно это заметно, в случае несбалансированных данных, где  $ROC AUC = 0,84$ ,  $PR AUC | Average = 0,30$ , а качество модели на основе вероятности правильных предсказаний  $Log loss = 0,16$ .

Результаты моделирования могут быть полезны при выборе правильной стратегии в управлении процессами принятия решений различных сфер деятельности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Drummond C., Holte R.C. Severe class imbalance: Why better algorithms aren't the answer? // Machine Learning. 2005. P. 539–546.
2. Gu, Q., Zhu, L., Cai, Z. Evaluation measures of the classification performance of imbalanced data sets // Computational Intelligence and Intelligent Systems. 2009. P. 461–471.
3. Haibo H., Garcia E.A. Learning from imbalanced data // Knowledge and Data Engineering. 2009. N 9. P.1263–1284.
4. Breiman W. Random Forests // Machine Learning. 2001. N 45. P. 5–32.
5. Scikit-learn: Scikit-learn. Машинное обучение в Python. [Сайт]. URL: [https://scikit-learn.ru/stable/modules/model\\_evaluation.html](https://scikit-learn.ru/stable/modules/model_evaluation.html) (Дата обращения 20.11.2024).
6. Saito T., Rehmsmeier M. The Precision-Recall Plot Is More Informative than the ROC Plot When Evaluating Binary Classifiers on Imbalanced Datasets // PLoS ONE. 2015. N 10. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1371/journal.pone.0118432> (Дата обращения 25.11.2024).
7. UC Irvine machine Learning Repository: [Сайт]. URL: <https://archive.ics.uci.edu/dataset/222/bank+marketing> (Дата обращения 12.11.2024).
8. Scikit-learn: Scikit-learn. Машинное обучение в Python. [Сайт]. URL: [https://scikit-learn.ru/stable/supervised\\_learning.html#supervised-learning](https://scikit-learn.ru/stable/supervised_learning.html#supervised-learning) (Дата обращения 20.11.2024).
9. Moro S., Cortez P., Rita P.A data-driven approach to predict the success of bank telemarketing // Decision Support Systems. 2014. N 62. P. 22-31.

© Широкова Екатерина Васильевна (kate-info@inbox.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# БОЕВЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЧЕРЕПА И ГОЛОВНОГО МОЗГА. ЗАРУБЕЖНЫЕ КЛИНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОКАЗАНИЮ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ

## COMBAT RELATED TRAUMATIC BRAIN INJURY. FOREIGN CLINICAL GUIDELINES FOR NEUROSURGICAL MANAGEMENT

S. Abrosimov

*Summary.* The article dealt with analysis of current foreign clinical guidelines for combat TBI in the active phase in deployed environment «A Joint Trauma System Clinical Practice Guideline: Traumatic Brain Injury Management and Basic Neurosurgery in the Deployed Environment» [6] (B. Dengler al.) (2024). In some cases, for comparison purposes national guidelines have been mentioned «Military field surgery. National guidelines / D.V. Trishkin, E.V. Kryukov [et al.]. — 2nd edition, revised and supplemented» [8] (2024). Clinical guidelines for GSW and blast injuries are considered.

*Keywords:* wartime TBI, blast injury, combat injury, traumatic brain injury.

**Абросимов Станислав Сергеевич**  
аспирант, ФГАОУ ВО Российский  
университет дружбы народов  
medicine@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлен анализ актуальных зарубежных клинических рекомендаций по оказанию специализированной медицинской помощи при боевых повреждениях черепа и головного мозга в активную фазу боевых действий «A Joint Trauma System Clinical Practice Guideline: Traumatic Brain Injury Management and Basic Neurosurgery in the Deployed Environment» [6] (2024). В отдельных случаях в комментариях к ним для сравнения использованы национальные рекомендации: «Военно-полевая хирургия. Национальное руководство» [8] (2024). Рассмотрены стандарты медицинской помощи и клинические рекомендации по оказанию нейрохирургической помощи при огнестрельных ранениях и взрывных повреждениях черепа и головного мозга.

*Ключевые слова:* огнестрельное ранение черепа и головного мозга, боевая травма, черепно-мозговая травма.

**Сокращения:** черепно-мозговая травма (ЧМТ), шкала комы Глазго (ШКГ), компьютерная томография (КТ), искусственная вентиляция легких (ИВЛ), внутричерепное давление (ВЧД), головной мозг (ГМ), смещение срединных структур (ССС), твердая мозговая оболочка (ТМО), декомпрессионная трепанация черепа (ДКТЧ).

### Введение

По состоянию на 4 марта 2024 года количество вооруженных конфликтов в мире достигло 55 и стало рекордным со времен Второй мировой войны [1]. Число погибших в результате военных действий комбатантов, nonкомбатантов и лиц гражданского населения с 1989 по 2022 годов превысило 3.3 млн человек [2]. В настоящее время характер боевой травмы в 80,2 % случаев является сочетанным [3], при этом в 30 % случаев ведущей боевой патологией является травма центральной нервной системы [4]. Выполнение своевременного исчерпывающего нейрохирургического вмешательства является обязательным условием для успешного лечения раненых и является чрезвычайно актуальным в настоящее время.

Согласно принятой на западе концепции Medical Force 2000 (MF2K) нейрохирургическая помощь оказывается на третьем уровне (Role 3) в составе модульного полевого госпиталя CSH (Combat Support Hospital), спо-

собного обеспечить максимально возможный уровень оказания медицинской помощи в условиях ведения боевых действий. Госпиталь разворачивается на 296 коек и содержит в своем составе 8 реанимационных отделений (96 коек), 7 палат интенсивной терапии (140 коек), 1 нейропсихиатрическое отделение (20 коек) и 2 отделения наблюдения (40 коек). Госпиталь должен быть оборудован 8 операционными с максимальной мощностью 144 операционных часа в сутки, рентгенологическим кабинетом, компьютерным томографом, банком крови, медицинской лабораторией [5]. В 2024 году журнал «Military medicine» Oxford University Press опубликовал обновленные клинические рекомендации по лечению боевой травмы черепа и головного мозга «A Joint Trauma System Clinical Practice Guideline: Traumatic Brain Injury Management and Basic Neurosurgery in the Deployed Environment» [6]. В них использовались данные «объединенной травматологической системы JTS» (Joint Trauma System), репозитория травм военного и мирного времени комбатантов и nonкомбатантов DoDTR (Department of Defense Trauma Registry, в прошлом объединенного реестра боевых травм JTTR (Joint Theatre Trauma Registry)) в период Афганской (2001–2021 гг.), Иракской (2003–2011 гг.) войн [7]. В настоящей статье представлены клинические рекомендации из указанного источника по оказанию нейрохирургической помощи раненым с огнестрельными и взрывными ранениями головы.

### Цель исследования

Анализ актуальных зарубежных диагностических алгоритмов и стандартов оказания нейрохирургической помощи при огнестрельных ранениях черепа и головного мозга.

### Материалы

В качестве источника использовано: (Dengler B et al.) «A Joint Trauma System Clinical Practice Guideline: Traumatic Brain Injury Management and Basic Neurosurgery in the Deployed Environment» [6] «Объединенная травматологическая система. Практическое клиническое руководство по лечению черепно-мозговой травмы и основам нейрохирургии в условиях боевого развертывания». В комментариях указаны актуальные отечественные клинические рекомендации: (Д. В. Тришкин, Е. В. Крюков и др.) «Военно-полевая хирургия. Национальное руководство 2-е издание, переработанное и дополненное» [8].

### Методы

Зарубежные клинические рекомендации были переведены на русский язык. Ссылки на другие статьи из оригинального текста полностью дублированы и представлены в списке литературы. Комментарии выделены значком (-), ссылки на страницы в источниках заключены в круглые скобки ().

**Включение:** в работе рассмотрены вопросы оказания нейрохирургической помощи раненым с ведущей тяжелой и среднетяжелой боевой ЧМТ.

**Исключение:** перед статьей не ставилась цель осветить следующие вопросы: особенности интенсивной терапии, седации, противосудорожной терапии, обезболивания, профилактики тромбообразования, антибиотикопрофилактики, пупиллометрии, авиамедицинской эвакуации, ранения шеи, позвоночника и спинного мозга и оказания медицинской помощи при другой ведущей боевой травме.

**Внимание!** Указанные зарубежные рекомендации не проходили необходимой процедуры одобрения и не соответствуют положениям Федерального законодательства об охране здоровья граждан в Российской Федерации. Представленный материал носит сугубо ознакомительный характер и не может заменить компетенции лечащего врача и никак не может влиять на принятие клинического решения.

### Результаты

#### Основные положения

- Благоприятные исходы лечения достигаются за счет предупреждения развития вторичного

повреждения головного мозга (гипоксии и гипотензии), срочной эвакуации раненого с поля боя, раннего начала лечения, выполнения своевременного нейрохирургического вмешательства, оказания необходимой интенсивной терапии, проведения специализированной реабилитации [9–16].

— «основное предназначение медицинских организаций, максимально приближаемых к зоне боевых действий, — спасение жизни раненых и предупреждения развития тяжелых осложнений посредством быстрой исчерпывающей диагностики, ранних оперативных вмешательств и интенсивной терапии с применением современных высокоэффективных методик и дополнительного медицинского оснащения» [8] (617).

- При тяжелой ЧМТ (ШКГ ≤ 8 баллов) лучшие результаты лечения в пределах зоны военных действий получены при доступности нейрохирургической помощи: нейрохирурга, передовых методов лучевой диагностики, наличия необходимого хирургического инструментария, оснащенной операционной, систем мониторинга, палат реанимации и интенсивной терапии [17,9].

— «оптимальные условия эффективной работы этапа оказания специализированной помощи по жизненным показаниям: вертолетная площадка для приема раненых и расположенный вблизи аэродрома для их дальнейшей эвакуации, наличие специализированного оснащения (аппарат УЗИ, С-дуга, компьютерный томограф, дыхательная аппаратура, экспресс— лаборатория), значительные и быстрое восполняемые запасы расходного медицинского имущества...» [8] (617).

- Вероятность выживания выше, если при наличии показаний нейрохирургическое вмешательство было выполнено в течение 5 часов после ранения [16].

— необходимо оказать специализированную хирургическую помощь «в максимально ранние сроки после ранения» [8] (617).

- При проникающей ЧМТ вероятность выживания выше, если нейрохирургическое вмешательство было выполнено в медицинском учреждении, развернутом вблизи зоны боевых действий [12].

— «В условиях современных военных конфликтов специализированная хирургическая помощь эшелонируется с целью приближения к раненым» [8] (617).

- В некоторых случаях, при тяжелых закрытых и проникающих ЧМТ шансы на благоприятный исход больше, если им было выполнено своевременное и радикальное нейрохирургическое вмешательство на этапе Role 3 в условиях военного полевого госпиталя (MTF: Medical treatment facilities) с последующим лечением в условиях реанимации [18, 10–12, 16].

В данном контексте имеется в виду развернутый военный полевой госпиталь. Существует 3 категории данной военной медицинской организации (MTF): амбулаторное звено, госпиталь, медицинский центр. По состоянию на 2020 год было развернуто 721 учреждение данного типа (CRS analysis of DOD, Restructuring and Realignment of Military Medical Treatment Facilities, February 19, 2020).

- Классификация тяжести ЧМТ
  - Легкая ШКГ 13–15 баллов.
  - Средней степени ШКГ 9–12 баллов.
  - Тяжелая ШКГ 3–8 баллов.
- Эвакуация на уровень Role 3 для оказания нейрохирургической помощи

Оказание нейрохирургической помощи в боевых условиях является ограниченным ресурсом, поэтому для диагностики и проведения лечения часто требуется авиамедицинская эвакуация раненого в ближайшее учреждение для консультации нейрохирургом и выполнения КТ. Необходимо избегать как недостаточные, так и необоснованно частые направления на консультацию нейрохирургом и выполнение КТ.

- «необходимо стремиться организовать эвакуацию раненых нейрохирургического профиля, особенно раненых в голову, на этапы оказания специализированной помощи, оснащенной установками КТ и усиленные присутствием нейрохирурга» [8] (619).
- Военнослужащие нуждаются в эвакуации для выполнения КТ и/или консультации нейрохирургом, если:
  - Сохраняется степень угнетения сознания ШКГ <14 баллов (раненые с легкой ЧМТ при отсутствии восстановления сознания до ШКГ 15 баллов).
  - Раненые со спутанным сознанием и с сохраняющимся когнитивным дефицитом (снижение памяти, внимания, познавательных функций, нарушение интеллекта).
- Использование шкалы MACE2 «Military acute concussion evaluation 2» (шкала оценки сотрясения головного мозга для военнослужащих) применимо только для первичного скрининга в слу-

чае легкой степени ЧМТ. MACE 2 не должна быть использована у раненых при среднетяжелой и тяжелой ЧМТ [19–21].

- Раненым необходима консультация нейрохирургом при:
  1. проникающей ЧМТ,
  2. открытом переломе черепа,
  3. среднетяжелой и тяжелой ЧМТ,
  4. сочетании травмы головы и неврологического дефицита неясного генеза.

В настоящее время, в соответствии с указаниями отечественной военно-полевой, нейрохирургическая помощь оказывается на этапе специализированной помощи.

- Особенности транспортировки раненых, ранней диагностики

- Выполнение простых начальных мероприятий:
- Необходимо использовать кровать с поднятым головным концом на 30–45 градусов, или положение АнтиТренделенбурга (с осторожностью при травме позвоночника).
  - С целью сохранения венозного оттока и профилактики перегибов внутренних яремных вен голову следует зафиксировать в ровном положении.
  - Следует избегать использование жестких шейных воротников и тугих фиксаторов для трубок ИВЛ и трахеостомы.

— «раненые без сознания эвакуируют в устойчивом положении на боку или на животе, чем предупреждается аспирация крови и рвотных масс» [8] (619).

- Лучевая диагностика: раненым с подозрением на ЧМТ с признаками нарушения сознания (ШКГ 12 баллов или менее) необходимо выполнение нативной КТ ГМ в максимально ранние сроки. При проникающих ранениях головы в дополнение к нативной КТ необходимо выполнение КТ-ангиографии для диагностики сосудистых повреждений (например, псевдоаневризм).

— «минимальный протокол обследования раненого с ЧМТ на этапе оказания специализированной помощи включает краниографию, эхоэнцефалоскопию, люмбальную пункцию» [8] (557). «При наличии технической возможности выполнения КТ краниографию и эхоэнцефалоскопию проводят только по дополнительным показаниям» [8] (557).

## Лечение

- Внутричерепная гипертензия

Несмотря на противоречивые данные, полученные при использовании инвазивных систем мониториру-

ния ВЧД, при наличии или подозрении на повышение ВЧД у пострадавших с тяжелой ЧМТ, борьба с внутричерепной гипертензией является приоритетной [22].

При невозможности выполнения интракраниального мониторинга и КТ сканирования, клинические критерии повышения ВЧД включают в себя:

- показатель двигательной активности по ШКГ <4 баллов,
  - анизокорию,
  - интервальное развитие анизокории  $\geq 2$  мм,
  - патологические зрачковой реакции,
  - снижение показателя двигательной активности по ШКГ  $\geq 1$  балла,
  - появление новых двигательных расстройств,
  - гипертензию с брадикардией.
- «При отсутствии КТ ее (церебральную ангиографию) выполняют для выявления сдавления и дислокации мозга внутричерепными гематомами» [8] (559); «появление (углубление) нарушения сознания, асимметрия зрачков, фиксированный поворот глаз в сторону, локальные судороги, гемиплегия, горметония— признаки сдавления головного мозга» [8] (619).

#### Показания к нейрохирургическому вмешательству

- Эпидуральная гематома

Все эпидуральные гематомы > 30 мл должны быть эвакуированы вне зависимости от уровня сознания по ШКГ [23].

Раненые с эпидуральной гематомой объемом менее 30 мл с шириной менее 15 мм со ССС ГМ менее 5 мм и ШКГ >8 баллов без очаговой симптоматики могут лечиться консервативно при соответствующем мониторинге в условиях реанимационного отделения. В случае ухудшения состояния раненого показан экстренный перевод в лечебное учреждение с доступной нейрохирургической помощью.

- Субдуральная гематома

Наличие острой субдуральной гематомы толщиной более 10 мм и ССС головного мозга > 5 мм является абсолютным показанием для выполнения краниотомии и удаления гематомы вне зависимости от уровня сознания по ШКГ.

Выполнение трепанации с удалением острой субдуральной гематомы с толщиной менее 10 мм и ССС головного мозга менее 5 мм показано при угнетении сознания на 2 балла или более, появлении нарушений зрачковых реакций и/или повышении ВЧД более 20 мм рт. ст. [23].

- Травматические паренхиматозные поражения головного мозга

Краниотомия и удаление гематомы показано раненым с ШКГ 6–8 баллов с очагами ушибов в лобной или височной областях объемом более 20 мл при ССС не менее 5 мм и/или сдавлении базальных цистерн по данным КТ [23].

Краниотомия и удаление гематомы также показаны раненым с очагами ушибов более 50 мл с потенциально излечимым состоянием.

- Травматические повреждения в задней черепной ямке

Выявление при нативной КТ масс-эффекта или наличия неврологического дефицита, обусловленного этим образованием, является показанием для проведения экстренной операции.

- Посттравматические аневризмы

У раненых с проникающими ранениями основания черепа или при прохождении раневого канала через известные зоны основных сосудистых зон значительно повышается риск возникновения аневризм. При всех проникающих ЧМТ необходимо выполнить КТ ангиографию или цифровую субтракционную ангиографию в экстренном порядке с целью исключения посттравматических аневризм [15].

- «при выявлении по данным КТ крупных (более 30 см<sup>3</sup>) внутричерепных гематом, тампонады желудочков, массивного субарахноидального кровоизлияния, пересечения траектории ранящего снаряда проекции срединной линии или боковых щелей показано проведение спиральной КТ-ангиографии для исключения травматических аневризм, диссекций, тромбозов магистральных церебральных артерий» [8] (558).

- Санация огнестрельной раны

Удаление некротизированной мозговой ткани при проникающих ранениях и выборочно при открытых переломах черепа является опционным [24].

- «обработку раны мозга осуществляют путем отмывания и аспирации содержимого раневого канала и очагов размножения...» [8] (574).

- Удаление инородного тела

Рутинное стремление к удалению отдельных инородных тел (пуль, фрагментов осколков) а также костных отломков обычно не рекомендуется, так как может вызвать

дополнительную травму мозга. Решение об удалении инородных структур принимает оперирующий нейрохирург в каждом конкретном случае. Сохранение фрагментов снарядов, костных отломков в области сенсорной и моторной коры, или в области речевых центров может увеличить риск возникновения посттравматической эпилепсии [24, 25].

— «удаление ранящего снаряда является желательным элементом операции, но при расположении в глубоких отделах мозга — от поиска и удаления металлических инородных тел следует отказаться» [8] (573).

«Обязательным условием полноценной хирургической обработки является радикальное удаление всех костных отломков из ткани мозга...» [8] (574).

- Твердая мозговая оболочка (ТМО)

Первичное закрытие или ограниченная пластика ТМО должна выполняться в крайних случаях, так как при тяжелой и проникающей ЧМТ существует риск прогрессирования отека мозга. Обычно в большинстве случаев при выполнении ДКТЧ используют неподшиваемые заменители ТМО (DuraGen® (Integra Life Sciences Corp., Princeton, NJ, USA и др). Пластика ТМО может быть выполнена с использованием височной фасции или широкой фасции бедра при отсутствии заменителей ТМО [24].

— «при необходимости наружной декомпрессии в обязательном порядке выполняют расширенную пластику ТМО (лоскут надкостницы, апоневроза, искусственного материала или вшиваемого протеза из коллагена животного происхождения» [8] (564). «ТМО зашивают монофиламентной нитью 4/5–5/0» [8] (577).

- Декомпрессивная трепанация черепа (ДКТЧ)

Необходимо выполнение ДКТЧ или краниэктомии при проникающих боевых ранениях мозга [12, 25–27].

Комментарии: «при неконтролируемой внутричерепной гипертензии выполняют декомпрессивную трепанацию» [8] (564).

- Костный лоскут

1. При проникающих ранениях: не сохраняют костный лоскут, так как для этой категории раненых предусмотрены методы реконструкции с использованием аллотрансплантатов.
2. При закрытой (непроникающей) ЧМТ: возможно сохранение костного лоскута в подкожной клетчатке передней брюшной стенки для дальнейшей краниопластики, если это возможно выполнить в стерильных условиях.

- Наложение диагностических трефинационных отверстий (если не доступны КТ и нейрохирург)

Наложение диагностических трепанационных отверстий имеет ограниченное практическое применение. По возможности они должны быть выполнены или нейрохирургом, или после консультации с нейрохирургом в случае недоступности необходимого КТ сканирования.

— «при невозможности уточнить характер повреждения головного мозга при клинической картине его сдавления диагностический поиск завершают наложением поисковых фрезевых отверстий в проекции областей наиболее частой локализации оболочечных гематом...» [8] (618).

### Заключение

В военной нейрохирургии выполнение стандартного рандомизированного клинического исследования практически невыполнимо. Уровни доказательности тех или иных рекомендаций при боевой травме основаны на эмпирических данных, поэтому многое заимствуется из опыта лечения ЧМТ мирного времени. Представленный материал знакомит с зарубежным опытом оказания нейрохирургической помощи в условиях дефицита персонала, ресурсов и преемственности в лечении раненых с огнестрельными ранениями черепа и головного мозга.

### Благодарности

Автор выражает особую благодарность за ценные советы начальнику нейрохирургического центра ФГБУ «НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневого» МО РФ д. м. н., профессору Антонову Г.И.

### ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.ohchr.org/en/statements-and-speeches/2024/03/turks-global-update-human-rights-council> (дата обращения 28.12.24)
2. <https://ourworldindata.org/grapher/cumulative-deaths-in-armed-conflicts> (дата обращения 28.12.24)
3. Крюков Е.В., Головкин К.П., Бадалов В.И., Загородников Г.Г., Денисов А.В., Хугаев Л.А., Насурдинов Н.И., Супрун Т.Ю. Особенности оказания квалифицированной хирургической помощи в современном вооруженном конфликте // Военно-медицинский журнал. — 2024. — Т. 345. — №11. — С. 4–14. doi: 10.52424/00269050\_2024\_345\_11\_4
4. [https://vmeda.mil.ru/upload/site56/document\\_file/3w7uzoaLyP.pdf](https://vmeda.mil.ru/upload/site56/document_file/3w7uzoaLyP.pdf) (дата обращения 28.12.24)

5. Emergency War Surgery: Fifth United States. Revision by Office of The Surgeon General United States Army | Jun 21, 2024, ISBN-13 979-8329111972 GPO Stock Number: 008-300-00174-3 LCCN 2018046075 (print) | LCCN 2018046660 (ebook) | ISBN 9780160940040 | ISBN 9780160940057 | ISBN 9780160940064 | ISBN 9780160940071 | ISBN 9780160947803 (alk. paper)
6. Bradley Dengler, Randall McCafferty, Christopher Neal, Randy Bell, Brian J. Sonka, Shane Jensen, Matthew D. Tadlock, Jan-Michael Van Gent, Remealle A How, Jennifer Gurney, A. Joint Trauma System Clinical Practice Guideline: Traumatic Brain Injury Management and Basic Neurosurgery in the Deployed Environment, *Military Medicine*, 2024; usae298, <https://doi.org/10.1093/milmed/usae298>
7. O'Connell K.M., Littleton-Kearney M.T., Bridges E., Bibb S.C. Evaluating the Joint Theater Trauma Registry as a data source to benchmark casualty care. *Mil Med*. 2012 May;177(5):546–52. doi: 10.7205/milmed-d-11-00422. PMID: 22645881.
8. Военно-полевая хирургия. Национальное руководство / Д.В. Тришкин, Е.В. Крюков, Д.Е. Алексеев [и др.]. — 2-е издание, переработанное и дополненное. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», 2024. — 1056 с. — (Национальное руководство). — ISBN 978-5-9704-8036-6. — DOI 10.33029/9704-8036-6-VPX-2024-1-1056. — EDN AVGYWM.
9. Carney N., Totten A.M., O'Reilly C., et al: Guidelines for the management of severe traumatic brain injury, fourth edition. *Neurosurgery* 2017; 80(1): 6–15. 10.1227/NEU.0000000000001432
10. Bell R.S., Vo A.H., Neal C.J., et al: Military traumatic brain and spinal column injury: a 5-year study of the impact blast and other military grade weaponry on the central nervous system. *J. Trauma Acute Care Surg* 2009; 66(4 Suppl): S104–111. 10.1097/TA.0b013e31819d88c8
11. Bell R.S., Mossop C.M., Dirks M.S., et al: Early decompressive craniectomy for severe penetrating and closed head injury during wartime. *Neurosurg Focus* 2010; 28(5): E1. 10.3171/2010.2.FOCUS1022
12. DuBose J.J., Barmparas G., Inaba K., et al: Severe traumatic brain injuries sustained during combat operations: demographics, mortality outcomes, and lessons to be learned from contrasts to civilian counterparts. *J. Trauma Acute Care Surg* 2011; 70(1): 11–16; discussion 16–18. 10.1097/TA.0b013e318207c563
13. Weisbrod A.B., Rodriguez C., Bell R., et al: Long-term outcomes of combat casualties sustaining penetrating traumatic brain injury. *J Trauma Acute Care Surg* 2012; 73(6): 1525–30. 10.1097/TA. 0b013e318270e179
14. Nakase-Richardson R., McNamee S., et al: Descriptive characteristics and rehabilitation outcomes in active-duty military personnel and veterans with disorders of consciousness with combat— and noncombat related brain injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2013; 94(10): 1861–9. 10.1016/j.apmr.2013.05.027
15. Bell R.S., Vo A.H., Roberts R., et al: Wartime traumatic aneurysms: acute presentation, diagnosis, and multimodal treatment of 64 craniocervical arterial injuries. *Neurosurgery* 2010; 66(1): 66–79. 10.1227/01.NEU. 0000361285.50218.A8
16. Shackelford S.A., Del Junco D.J., Reade M.C., et al: Association of time to craniectomy with survival in patients with severe combatrelated brain injury. *Neurosurg Focus* 2018; 45(6): E2. 10.3171/2018. 9.FOCUS18404
17. Gurney J.M., et al: Committee on Surgical Combat Casualty Care position statement: Neurosurgical capability for the optimal management of traumatic brain injury during deployed operations. *J. Trauma Acute Care Surg* 2023; 95: S7–S12. 10.1097/TA.0000000000004058
18. Breeze J., Bowley D.M., Harrison S.E., et al: Survival after traumatic brain injury improves with deployment of neurosurgeons: a comparison of US and UK military treatment facilities during the Iraq and Afghanistan conflicts. *J. Neurol Neurosurg* 2020; 91(4): 359–65. 10.1136/jnnp-2019-321723
19. Echemendia R.J., Meeuwisse W., McCrory P., et al: The Sport Concussion Assessment Tool 5th Edition (SCAT5). *Br J Sports Med* 2017; 51(11): 848–50. 10.1136/bjsports-2017-097506
20. Khokhar B., Jorgensen-Wagers K., Marion D., Kiser S.: Military acute concussion evaluation: a report on clinical usability, utility, and user's perceived confidence. *J. Neurotrauma* 2021; 38(2): 210–7. 10.1089/neu.2020.7176
21. Coldren R.L., Kelly M.P., Parish R.V., et al: Evaluation of the military acute concussion evaluation for use in combat operations more than 12 hours after injury. *Mil Med* 2010; 175(7): 477–81. 10.7205/MILMEDD-09-00258
22. Lazaridis C., Neyens R., Bodle J., DeSantis S.M.: High-osmolarity saline in neurocritical care: systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med* 2013; 41(5): 1353–60. 10.1097/CCM.0b013e31827ca4b3
23. Bratton S.L., Chestnut R.M., Ghajar J., et al: Guidelines for the management of severe traumatic brain injury. *J. Neurotrauma* 2007; 24(Suppl 1): S1–S106. 10.1089/neu.2007.9999
24. Salazar A.M., Jabbari B., Vance S.C., Grafman J., Amin D., Dillon J.D.: Epilepsy after penetrating head injury. Clinical correlates: a report of the Vietnam head injury study. *Neurology* 1985; 35(10): 1406–14. 10.1212/WNL.35.10.1406
25. Ecker R.D., Mulligan L.P., Dirks M., et al: Outcomes of 33 patients from the wars in Iraq and Afghanistan undergoing bilateral or bicompartamental craniectomy. *J. Neurosurg* 2011; 115(1): 124–9. 10.3171/2011. 2.JNS101490
26. Ragel B.T., Klimo P. Jr., Martin J.E., et al: Wartime decompressive craniectomy: technique and lessons learned. *Neurosurg Focus* 2010; 28(5): E2. 10.3171/2010.3.FOCUS1028
27. Wolf S.J., Bebarta V.S., Bonnett C.J., Pons P.T., Cantrill S.V.: Blast injuries. *Lancet* 2009; 374(9687): 405–15. 10.1016/S0140-6736(09)60257-9

© Абросимов Станислав Сергеевич (medicine@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАЦИЕНТОВ С ОСТРЫМ КОРОНАРНЫМ СИНДРОМОМ И ПРИЗНАКАМИ ДИСПЛАЗИИ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ

## CLINICAL CHARACTERISTICS OF PATIENTS WITH ACUTE CORONARY SYNDROME AND SIGNS OF CONNECTIVE TISSUE DYSPLASIA

**A. Akhmadzyanova  
Ya. Khovaeva**

*Summary.* We examined 120 patients with acute coronary syndrome with and without ST segment elevation in the cardiology department. For all patients, a clinical and anamnestic analysis of the condition of the connective tissue was carried out to identify markers of undifferentiated connective tissue dysplasia (UCTD). Depending on the presence of UCTD symptoms, all patients were divided into 2 groups. Group 1 included 26 patients with symptoms of UCTD, group 2 included 37 patients without symptoms of UCTD. A clinical and anamnestic analysis of the patients was carried out, and data from laboratory and instrumental studies and the results of coronary angiography were also reviewed. Long-term patient outcomes such as: hospitalizations for cardiovascular disease (CVD); frequency of visits to emergency medical care for CVD; the incidence of repeated acute myocardial infarction and new cases of myocardial revascularization; lethal outcome after hospital discharge was assessed during 36 months of follow-up. As a result of our study, the thesis about a more unfavorable prognosis for acute forms of coronary heart disease in people with UCTD is not confirmed.

*Keywords:* undifferentiated connective tissue dysplasia, acute myocardial infarction, unstable angina.

**Ахмадзянова Аделина Рафиловна**

ФГБОУ ВО Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера  
linka949@mail.ru

**Ховаева Ярослава Борисовна**

доктор медицинских наук, профессор, ФГБОУ ВО Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера  
yaroslavakh@rambler.ru

*Аннотация.* Обследовано 120 пациентов с острым коронарным синдромом с подъемом и без подъема сегмента ST кардиологического отделения. Для всех пациентов был осуществлён клинико-anamnestический анализ состояния соединительной ткани с целью выявления маркеров недифференцированной дисплазии соединительной ткани (НДСТ). В зависимости от наличия симптомов НДСТ все пациенты были разделены на 2 группы. В 1-ю группу вошли 26 пациентов с наличием симптомов НДСТ, 2-ю группу — 37 пациентов без симптомов НДСТ. Был проведен клинико-anamnestический анализ пациентов, а также рассмотрены данные лабораторных и инструментальных исследований и результаты коронароангиографии. Долгосрочные исходы пациентов, такие как: госпитализации по поводу сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ); частота обращений за скорой медицинской помощью по поводу ССЗ; частота развития повторного острого инфаркта миокарда и новых случаев реваскуляризации миокарда; летальный исход после выписки из стационара оценивались в течение 36 месяцев наблюдения. В результате нашего исследования тезис о более неблагоприятном прогнозе острых форм ишемической болезни сердца у лиц с НДСТ не подтверждается.

*Ключевые слова:* недифференцированная дисплазия соединительной ткани, острый инфаркт миокарда, нестабильная стенокардия.

## Введение

Актуальность исследования обусловлена главным образом тем, что заболеваемость болезнями системы кровообращения (БСК) растет ежегодно и является основной причиной инвалидизации среди россиян. На протяжении длительного времени БСК остаются главной причиной смертности, по данным Росстата в 2022 году БСК занимали ведущее место среди причин смертности (43,8 % всех смертей в РФ) [1]. Известно, что наличие дисплазии соединительной ткани является неблагоприятным фоном для любой патологии, включая течение ишемической болезни сердца [2; 3]. В основе этого состояния лежит врожденная мезенхимальная неполноценность, слабость соединительной ткани и ослабление центральных адаптационных механизмов отдельных систем и целого организма

[4]. В недавних исследованиях акцентируется внимание на влияние дисплазии соединительной ткани на течение острого коронарного синдрома. Нарушения сердечного ритма, такие как фибрилляция предсердий, частая и парная наджелудочковая экстрасистолия, пароксизмальная желудочковая тахикардия, выявляются достоверно чаще у пациентов с ОИМ и наличием симптомов НДСТ [5]. Согласно результатам исследований Мирошниченко Е.П., пациенты с острым инфарктом миокарда (ОИМ) и симптомами НДСТ характеризуются более неблагоприятным структурным постинфарктным ремоделированием сердца с его дилатацией. Кроме того, у таких пациентов чаще развиваются такие осложнения как отек легких, кардиогенный шок, синдром Дресслера и постинфарктная аневризма левого желудочка [6].

## Материал и методы исследования

Обследовано 120 пациентов с острым коронарным синдромом (ОКС) с подъемом и без подъема сегмента ST на клинической базе кардиологии регионального сосудистого центра.

Критериями оценки состояния соединительной ткани пациентов были фенотипические маркеры дисплазии и стигмы дисэмбриогенеза, которые выявлялись при клинико-анамнестическом и физикальном исследовании. В основу методики легла модифицированная система диагностических коэффициентов и коэффициентов информативности признаков НДСТ (проф. В.М. Яковлев и А. Вальд). Критерием наличия симптомов НДСТ служило выявление четырех и более маркеров ДСТ. После суммирования диагностических коэффициентов и достижения диагностического порога +17, делали заключение о наличии у пациента НДСТ. Наличие фенотипических признаков и стигм дисэмбриогенеза выявляли согласно рекомендациям по НДСТ [7].

Критериями включения в исследование являлись:

- возраст от 32 до 85 лет;
- диагноз острого инфаркта миокарда и нестабильной стенокардии;
- информированное согласие на участие в исследовании;
- для группы с симптомами НДСТ — наличие четырех и более маркеров дисплазии соединительной ткани.

Критериями невключения были:

- злокачественные новообразования и заболевания крови;
- заболевания почек и печени с нарушением их функции;
- острые и хронические инфекционно-воспалительные заболевания;
- декомпенсация хронической сердечной недостаточности до госпитализации в стационар.

После тщательного анализа соответствия критериям включения и отсутствия критериев невключения в исследование были включены 63 пациента, у 9 из которых был диагностирован инфаркт миокарда с зубцом Q (14,3 %), у 13 пациентов инфаркт миокарда без зубца Q (20,6 %), и 41 пациенту (65,1 %) выставлен диагноз нестабильной стенокардии (НС). Диагноз ОИМ и НС устанавливался на основании анамнестических, клинических, лабораторных и инструментальных методов исследования в соответствии с клиническими рекомендациями МЗ РФ, диагностическими критериями Европейского обще-

ства кардиологов, действовавших на момент проведения исследования<sup>1</sup>.

Все пациенты в стационаре проходили обследования и получали стандартную терапию согласно клиническим рекомендациям МЗ РФ по острому коронарному синдрому без подъема сегмента ST электрокардиограммы (2020 г.) и острому инфаркту миокарда с подъемом сегмента ST электрокардиограммы (2020 г.). Общеклиническое лабораторное исследование включало: общий анализ крови; определение в динамике высокочувствительного сердечного тропонина I, креатинкиназы — МВ фракции; исследование показателей лабораторных маркеров функции печени и почек; исследование уровня глюкозы; биохимический анализ крови по оценке нарушений липидного обмена.

Инструментальные диагностические исследования включали: электрокардиографию (ЭКГ) в покое в 12 стандартных отведениях; холтеровское мониторирование сердечного ритма (ХМ ЭКГ); эхокардиографию (ЭхоКГ) с обязательной оценкой фракции выброса (ФВ) ЛЖ; рентгенографию легких; селективную коронароангиографию (КАГ);

Электрокардиографическое исследование (Электрокардиограф Nihon Kohden Cardiofax C ECG-2150, Япония) проводилось в 12 отведениях с анализом ритма, частоты сердечных сокращений (ЧСС), ишемических и рубцовых изменений, динамики изменений сегмента ST и зубца T, признаков гипертрофии миокарда. Исследование проводилось при поступлении пациентов в стационар, в последующем исследование проводили ежедневно в течение первых 3–4-х дней, далее при необходимости. Для выявления нарушений ритма и проводимости, наличия и продолжительности эпизодов ишемии миокарда проводилось холтеровское мониторирование ЭКГ в течение суток (ХМЭКГ), Astrocard Holtersystem-2f АО МЕДИТЕК, Россия.

Всем пациентам с ОИМ с подъемом сегмента ST сразу после установления диагноза проводилась экстренная

<sup>1</sup> Рекомендации ESC по ведению пациентов с острым коронарным синдромом без стойкого подъема сегмента ST 2015/Российский кардиологический журнал 2016, 3 (131): 9-63 <http://dx.doi.org/10.15829/1560-4071-2016-3-9-63>; Рекомендации ЕОК по ведению пациентов с острым инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST 2017/Российский кардиологический журнал 2018; 23 (5): 103-158 <http://dx.doi.org/10.15829/1560-4071-2018-5-103-158>; Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации. «Острый коронарный синдром без подъема сегмента ST электрокардиограммы»/ Российское кардиологическое общество при участии ассоциации сердечно-сосудистых хирургов России//— 2020., Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации. «Острый инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST электрокардиограммы»/ Российское кардиологическое общество при участии ассоциации сердечно-сосудистых хирургов России//— 2020.

коронароангиография (КАГ) с последующей реперфузией инфаркт-связанной артерии. Решение о необходимости и экстренности проведения КАГ с возможным чрескожным коронарным вмешательством (ЧКВ) пациентам с ОКС без подъема сегмента ST определяли после проведения стратификации риска по шкале GRACE.

Селективная коронарная ангиография КАГ проводилась специалистами отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения регионального сосудистого центра по стандартным методикам. Всем пациентам была проведена КАГ в нескольких проекциях с использованием рентгенохирургического оборудования фирм «Siemens» и «Philips» с цифровой записью изображения в формате DICOM.

Нами были проведены рентгеноанатомический и морфо-геометрический анализ коронароангиограмм. Материалом для исследования послужили записи ангиограмм коронарных сосудов обследуемых пациентов. Для оценки левой коронарной артерии использовалась переднезадняя, правая передняя косая (угол наклона объекта визуализации к сагиттальной плоскости составляет 20+35° вправо) и левая передняя косая (угол наклона +60+70° влево) проекции. Для описания правой коронарной артерии использовалась переднезадняя и правая передняя косая проекция с такими же углами наклона [8]. Измерения проводились при помощи компьютерных программ «RadiAnt DICOM Viewer», «Philips\_viewer» на персональном компьютере. Анализ данных ангиограмм заключался в определении типа кровоснабжения сердца, диаметра основных стволов правой и левой коронарных артерий (КА), аномалий коронарных артерий, таких как выраженная извитость, миокардиальный мост.

Тяжесть атеросклеротического поражения коронарного русла оценивалась с помощью индекса Gensini. Индекс Gensini рассчитывался по стандартной методике, включавшей 15 сегментов коронарного русла [9; 10].

Учитывая запланированный дизайн исследования, на следующем этапе нашего проспективного исследования проводились телефонные контакты и анализ медицинской документации для выявления и оценки конечных точек, таких как: госпитализации по поводу сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), которые включали госпитализации по поводу ухудшения течения ишемической болезни сердца (ИБС) и артериальной гипертензии (АГ), декомпенсации хронической сердечной недостаточности (ХСН); частота обращений за скорой медицинской помощью (СМП) по поводу ССЗ, описанных выше, частота развития повторного ОИМ и новых случаев реваскуляризации миокарда; и летальный исход после выписки из стационара.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программы STATISTICA 10.0 (StatSoft, Inc., USA). Для определения нормальности распределения признаков применяли критерий Колмогорова-Смирнова. Для описания количественных признаков были использованы медиана (*Me*) и квартили ( $Q_1, Q_3$ ). При оценке статистической достоверности различий (*p*) в независимых выборках для количественных признаков применялся U-критерий Манна-Уитни (*U*). Оценка достоверности различий для качественных признаков проведена с помощью непараметрического критерия Хи-квадрат ( $\chi^2$ ).

### Результаты

В зависимости от наличия симптомов недифференцированной дисплазии соединительной ткани, все пациенты были разделены на 2 группы: 1-ю группу составили 26 пациентов с наличием симптомов НДСТ (средний возраст 55 лет [52; 65], из них 10 мужчин (38,5 %)). 2-ю группу — 37 пациентов без симптомов НДСТ (средний возраст составил 64 года [55; 71], из них 17 мужчин (46 %)). Статистически значимых различий между основной группой (с признаками НДСТ) и группой сравнения (без признаков НДСТ) по половому составу и возрасту не было.

По структуре окончательного клинического диагноза — частоте возникновения инфаркта миокарда и нестабильной стенокардии различий также не было выявлено ( $p=0,764$ ). Характеристика окончательного клинического диагноза представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Распределение пациентов в зависимости от диагноза

Диагноз	Группа с НДСТ (n=26)		Группа без НДСТ (n=37)	
	Абс.	%	Абс.	%
Инфаркт миокарда с зубцом Q	3	11,5	6	16,2
инфаркт миокарда без зубца Q	6	23,1	7	18,9
Нестабильная стенокардия	17	65,4	24	64,9

Были оценены факторы риска ССЗ, наиболее частыми из которых были: наследственная предрасположенность к раннему развитию ССЗ, курение, избыточная масса тела, дислипидемия, АГ и сахарный диабет 2 типа (таблица 2). Избыточная масса тела реже встречалась у больных с признаками НДСТ. Выявлено статистически достоверное различие в соотношении ОТ/ОБ между группой с НДСТ и группой сравнения, соответственно: 0,90 ус.ед. (0,82–0,97) и 0,95 ус.ед. (0,90–0,99),  $p = 0,037$ .

Курение чаще встречалось в группе с НДСТ ( $p = 0,032$ ), а дислипидемия одинаково часто выявлялась в обеих группах исследуемых, но уровень ЛПОНП был выше в группе с НДСТ, чем без признаков НДСТ, и составил соответственно 0,73 ммоль/л (0,58–0,85) и 0,53 ммоль/л (0,45–0,73),  $p = 0,030$ .

Таблица 2.

Факторы сердечно-сосудистого риска у обследованных пациентов

Фактор риска	Группа с НДСТ (n=26)		Группа без НДСТ (n=37)		p
	Абс.	%	Абс.	%	
Наследственная отягощенность по раннему развитию сердечно-сосудистых заболеваний	8	30,8	6	16,2	0,332
Избыточная масса тела	16	61,5	34	91,9	0,037
Курение	14	53,8	10	27,1	0,032
Артериальная гипертензия	24	92,3	31	83,8	0,327
Сахарный диабет 2 типа	1	3,8	7	18,9	0,081
Дислипидемия	24	92,3	34	91,9	0,030

Результаты общеклинических лабораторных исследований, указанных в методах исследования, за исключением липидного профиля, достоверно не различались в двух группах.

Анализ результатов ХМ ЭКГ выявил, что нарушение ритма сердца в виде частой НЖЭС статистически достоверно чаще встречалось в группе с симптомами НДСТ. НЖЭС встречалась в 92,3 % случаев против 56,8 % ( $p = 0,017$ ).

При анализе данных ЭхоКГ достоверных различий в размерах камер сердца, сократимости, поражений клапанов и систолической функции сердца не было выявлено. Фракция выброса составила 62 % [56; 66] в 1-й группе, во 2-й 59,5 % [54; 66,5],  $p = 0,676$ .

Результаты по инвазивной стратегии лечения в группах достоверно не различались. Данные представлены в таблице 3. Чрескожное коронарное вмешательство (ЧКВ) ангиопластика со стентированием проводилась в 15/40,5 % случаев в группе без НДСТ, против 7/26,9 % в группе с НДСТ ( $p = 0,364$ ).

Лечение в стационаре включало: двойную антиагрегантную и антикоагулянтную (низкомолекулярные гепарины) терапию, бета-блокаторы, антагонисты минералкортикоидных рецепторов, препараты группы

Таблица 3.

Частота проведения инвазивной стратегии

Инвазивная стратегия	Группа с ДСТ (n=26)		Группа без ДСТ (n=37)	
	Абс.	%	Абс.	%
Экстренная (первые 2 ч)	5	19,2	9	24,3
Ранняя (первые 24 ч)	17	65,4	18	48,6
Отсроченная (в течение 72 ч)	4	15,4	10	27,1

\* Между группами достоверных различий не выявлено ( $p = 0,737$ ).

ингибиторов ангиотензин-превращающего фермента или антагонистов рецепторов ангиотензина II, статины, которые одинаково часто назначались в обеих группах пациентов.

При анализе коронароангиограмм достоверных различий в типах кровоснабжений, диаметрах основных стволов коронарных артерий, наличии аномалий и частоте атеросклеротического поражения коронарных артерий между группами не выявлено. Частота встречаемости изменений по данным коронароангиограмм в двух группах представлена на рисунках ниже. Неизменные КА по данным ангиограмм — это коронарные артерии с ровными контурами на всем протяжении, без атеросклеротических признаков поражения, без видимых аномалий и отрицательным результатом провокационных фармакологических проб для выявления спазма КА во время проведения КАГ.

При оценке ангиограмм на степень атеросклеротического стенозирования коронарного русла по методу Gensini статистически достоверных различий в тяжести коронарного атеросклероза в двух группах не было выявлено. Индекс в группах 1 и 2 составил соответственно 30 [10; 58] и 30,5 [12; 67], при  $p=0,068$ .

Продолжительность госпитализации по поводу ОКС достоверно не различалась, в группе с признаками НДСТ составила 8 дней (7–10), в группе без НДСТ — 7 дней (6–9),  $p = 0,060$ .

Период наблюдения после выписки из стационара составил 36 месяцев. За период наблюдения достоверных различий по количеству обращений за СМП и госпитализаций по поводу ССЗ не выявлено. Количество обращений за СМП по ССЗ в группе 1 составил 1 [0; 4] случай, в группе 2–2,5 [0; 5], при  $p = 0,375$ . Число случаев госпитализаций по поводу ССЗ за период наблюдения также в группах достоверно не отличалось и составило в 1 группе 0 [0; 1], во 2 группе — 1 [0; 3], при  $p=0,448$ . Время до первой госпитализации после выписки из стацио-



Рис. 1. Частота встречаемости изменений коронарных артерий в группе с НДСТ



Рис. 2. Частота встречаемости изменений коронарных артерий в группе без симптомов НДСТ

нара по поводу ССЗ также было статистически неразличимо. В 1 группе Ме составила 480 [248; 1174] день, а во 2 группе — 186 [30; 761] дня при  $p = 0,172$ .

Однако, выявлено различие в частоте повторных случаев ОИМ с последующим ЧКВ в группах. Так, частота повторных ОИМ с последующим ЧКВ в 1 группе составила 1 случай (3,8%), во 2-й группе — 3 случая (8,1%) из числа наблюдавшихся, при  $p = 0,001$ .

За время наблюдения во 2-й группе отмечено 2 летальных исхода, в 1-й группе — 1 летальный исход. Причиной всех 3 летальных случаев были сердечно-сосудистые заболевания. При построении таблиц сопряженности взаимосвязи между неблагоприятным признаком (определяемыми признаками ДСТ) и неблагоприятными исходами не выявлено, степень зависимости равна 0,036 при  $p = 0,773$ .

Также, при анализе общего количества конечных точек (обращение за СМП по поводу ССЗ, госпитализации

по поводу ССЗ, повторный ОИМ, ЧКВ, летальный исход) достоверных различий не было выявлено. В 1-й группе количество конечных точек составило 94 (3,6 на человека), во 2-й — 121 (3,3 на человека). Количество пациентов, у которых были отмечены конечные точки в 1-й группе — 17/65,4 %, во 2-й группе — 25/67,6 %,  $p = 0,884$ .

### Обсуждение

Мы предполагаем, что действительно наличие симптомов недифференцированной дисплазии соединительной ткани является неблагоприятным фоном в отношении развития нарушений ритма сердца. В группе с симптомами НДСТ достоверно чаще выявлялась наджелудочковая экстрасистолия. При анализе отдаленных

исходов в течение 36 месяцев после госпитализации, достоверных различий в частоте обращений за СМП, госпитализации по ССЗ и числу летальных исходов в двух группах не выявлено, что вероятно обусловлено своевременным оказанием медицинской помощи и адекватной тактикой лечения данных больных. Однако число повторных случаев ОИМ с последующим ЧКВ больше в группе без симптомов НДСТ.

### Выводы

Таким образом, в нашем исследовании тезис о более неблагоприятном прогнозе острых форм ИБС у пациентов с НДСТ не подтверждается.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Богачевская С.А. Анализ сердечно-сосудистой смертности в России и ДФО в рамках реализации федеральных и региональных программ «Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями»: целевые показатели, прогноз и факты / С.А. Богачевская, С.Н. Киселев // Дальневосточный медицинский журнал. — 2024. — № 1. — С. 44–50. <http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2024-1-8>.
2. Нечаева Г.И. НЕДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ДИСПЛАЗИИ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ // ИЗБРАННЫЕ ЛЕКЦИИ ПО ТЕРАПИИ. — 2021. — С. 65.
3. Ермачкова Л.В. Психосоматические особенности лиц молодого возраста с синдромом дисплазии соединительной ткани по результатам диспансерного осмотра / Л.В. Ермачкова, Я.Б. Хоаева, Б.В. Головской // Кубанский научный медицинский вестник. — 2009. — № 6(111). — С. 45–47. — EDN JUDEM.R.
4. Головской Б.В., Хоаева Я.Б., Ермачкова Л.В. Адаптивные процессы и дисплазия соединительной ткани в практике поликлинического врача / Б.В. Головской, Я.Б. Хоаева, Л.В. Ермачкова [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2015. — № 11–5(42). — С. 17–21. — DOI 10.18454/IRJ.2015.42.154. — EDN VCTOJJ.
5. Султанова О.Э. Клинические особенности течения острого коронарного синдрома на фоне синдрома недифференцированной дисплазии соединительной ткани / О.Э. Султанова, Е.Н. Чернышева, Н.П. Сыроватская // Инновации. Наука. Образование. — 2020. — № 22. — С. 690–695. — EDN DQVRGP.
6. Мирошниченко Е.П. Особенности течения и лечения инфаркта миокарда у больных с признаками дисплазии соединительной ткани. Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Мирошниченко Елизавета Петровна. — Симферополь, 2020.
7. Недифференцированные дисплазии соединительной ткани (проект клинических рекомендаций). Doi: [https://dx.doi.org/10.18565/Терапия.2019;7\[33\]:9-42](https://dx.doi.org/10.18565/Терапия.2019;7[33]:9-42).
8. Жарикова Т.С. Закономерности морфо- и геометрических характеристик коронарных артерий при разных типах кровоснабжения сердца у мужчин и женщин второго периода зрелого и пожилого возраста (рентгеноанатомическое исследование). Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Москва. — 2015.
9. Gensini G.G. A more meaningful scoring system for determining the severity of coronary heart disease. *Am J Cardiol.* 1983. 51(3):606. doi: 10.1016/s0002-9149(83)80105-2. PMID: 6823874.
10. Wang K.Y., Zheng Y.Y., Wu T.T., Ma Y.T., Xie X. Predictive Value of Gensini Score in the Long-Term Outcomes of Patients With Coronary Artery Disease Who Underwent PCI. *Front Cardiovasc Med.* 2022 Jan 24. 8:778615. doi: 10.3389/fcvm.2021.778615. PMID: 35141291; PMCID: PMC8818732.

© Ахмадзянова Аделина Рафиловна ([linka949@mail.ru](mailto:linka949@mail.ru)); Хоаева Ярослава Борисовна ([yaroslavakh@rambler.ru](mailto:yaroslavakh@rambler.ru))

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КТ, МРТ И УЗИ В ДИАГНОСТИКЕ РАЗЛИЧНЫХ ПАТОЛОГИЙ ВНЧС

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF CT, MRI, AND ULTRASOUND IN THE DIAGNOSIS OF VARIOUS TMJ PATHOLOGIES

**K. Gusenkadiyeva  
A. Ulmasov  
I. Rasulov**

*Summary.* The article presents a comparative analysis of the effectiveness of computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI) and ultrasound (ultrasound) in the diagnosis of various diseases of the temporomandibular joint (TMJ). The features of each imaging method are considered, including their advantages and limitations in the context of diagnostic accuracy. The authors emphasize that the choice of the research method should be based on specific clinical situations and individual characteristics of the patient. The results of the study emphasize the importance of an integrated approach to diagnosis, which may include several techniques. In conclusion, the article offers recommendations on the optimal use of imaging techniques to improve the accuracy of diagnosis of TMJ diseases.

*Keywords:* TMJ pathology, pathology, pathology diagnosis, CT, MRI, ultrasound.

**Гусенкадиева Камила Нажмудиновна**

аспирант, Дагестанский государственный медицинский университет, Дагестан, г. Махачкала  
Kgusenkadiyeva@bk.ru

**Улмасов Азизжон**

Волгоградский Государственный  
Медицинский Университет, г. Волгоград  
dr.ulmasov91@gmail.com

**Расулов Ибрагим Магомедкамильевич**

доктор медицинских наук, доцент,  
Дагестанский государственный медицинский университет, Дагестан, г. Махачкала  
prof\_rasulov@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлен сравнительный анализ эффективности компьютерной томографии (КТ), магнитно-резонансной томографии (МРТ) и ультразвукового исследования (УЗИ) в диагностике различных патологий височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС). Рассматриваются особенности каждого метода визуализации, включая их преимущества и ограничения в контексте точности диагностики. Авторы акцентируют внимание на том, что выбор метода исследования должен основываться на конкретных клинических ситуациях и индивидуальных характеристиках пациента. Результаты исследования подчеркивают значимость комплексного подхода к диагностике, который может включать несколько методик. В заключение статья предлагает рекомендации по оптимальному использованию методов визуализации для повышения точности диагностики заболеваний ВНЧС.

*Ключевые слова:* патологии ВНЧС, патологии, диагностика патологий, КТ, МРТ, УЗИ.

**В**исочно-нижнечелюстной сустав (ВНЧС) является одним из сложных суставов. Он образован суставными поверхностями головки нижней челюсти, суставной ямкой височной кости; внутри содержится диск. Диск состоит из волокнистой хрящевой ткани и делит полость сустава на верхнее и нижнее отделения. Движения в верхнем и нижнем отделениях сустава имеют различный характер: в верхнем отделении происходит скольжение, в нижнем — вращение. В суставе происходят сложные движения: вокруг фронтальной оси — опускание и поднятие челюсти; вдоль сагиттальной оси — движение вперед и назад; вокруг вертикальной оси — вращательные (боковые) движения. Движения в левом и правом суставах происходят одновременно. Височнонижнечелюстной сустав считается комбинированным сочленением, по форме суставных поверхностей относится к эллипсоидному [3].

Дисфункция ВНЧС (височно-нижнечелюстного сустава) — это патология, включающая в себя комплекс

анатомических и функциональных нарушений, который состоит из суставного (мышцелковый отросток нижней челюсти, крыло-нижнечелюстная связка, суставная капсула, внутрисуставной диск, наружная височно-нижнечелюстная связка, суставной бугорок височной кости и др.), мышечного (собственно жевательная, височная, медиальная и латеральная крыловидные мышцы и др.) и окклюзионного компонентов зубных рядов верхней и нижней челюстей [8]. Согласно результатам клинических исследований А.Т. Зангионовой, дисфункция височно-нижнечелюстного сустава встречается у значительной части взрослого населения в возрастной группе 20–50 лет, затрагивая от 18 до 84 % пациентов с различными проявлениями патологии. Масштабные наблюдения В.В. Баданина и В.А. Хватовой, проведенные в 1998 году, зафиксировали четырехкратное увеличение частоты поражений ВНЧС к концу XX века, выявив двустороннюю взаимосвязь между окклюзионными нарушениями и патологическими изменениями анатомо-функционального комплекса сустава. Много-

факторность возникновения дисфункции ВНЧС требует комплексного диагностического подхода. Клиническая картина характеризуется наличием типичных признаков, позволяющих установить диагноз при минимальном обследовании, а также атипичных проявлений, требующих расширенной диагностики и междисциплинарного взаимодействия специалистов [1].

Клинические наблюдения А.И. Юношевой демонстрируют преобладание патологии среди женщин репродуктивного возраста 16–40 лет, преимущественно вторичный характер заболевания подтверждает необходимость системного подхода к диагностике и лечению. Патогенез заболеваний височно-нижнечелюстного сустава обусловлен множественными факторами, включая отсутствие зубов, аномалии прикуса, повреждения челюстно-лицевой области, патологические привычки, психологический статус больного и дисфункцию мышечного аппарата краниоцервикальной зоны. Клинические исследования подтверждают необходимость присутствия внешних либо внутренних патологических триггеров для манифестации болевого синдрома при дисфункции височно-нижнечелюстного сустава. Патологические изменения суставного аппарата могут длительное время протекать бессимптомно, не вызывая дискомфорта у пациента до момента воздействия провоцирующих факторов [11].

Нарушения в работе височно-нижнечелюстного сустава обнаруживаются преимущественно в процессе стоматологического лечения. Особенно часто дисфункции проявляются во время протезирования, когда происходит коррекция высоты нижней части лица, заставляя сустав двигаться по новой траектории. Удаление зубов также меняет привычный паттерн жевательных движений, вынуждая весь комплекс височно-нижнечелюстного сустава адаптироваться к измененным условиям. Минимальные стоматологические вмешательства, включающие восстановление множественных пломб с формированием полноценных окклюзионных контактов, применение защитных капп или ортодонтическое лечение, реже вызывают дискомфорт в области сустава.

Перестройка окклюзионных взаимоотношений неизбежно влияет на координацию жевательной мускулатуры, вызывая компенсаторные изменения траектории движений нижней челюсти. Длительное сохранение адаптивного двигательного паттерна формирует устойчивую компенсаторную окклюзию, нарушающую сложившиеся анатомо-функциональные взаимосвязи челюстно-лицевой области, что приводит к дискоординации зубочелюстной системы.

Морфологические исследования подтверждают прямую взаимосвязь между потерей зубов и последующим развитием патологических трансформаций в структурах височно-нижнечелюстного сустава.

Нарушение симметрии мышечных нагрузок, вызванное окклюзионными дисфункциями, приводит к дискоординации элементов височно-нижнечелюстного сустава. Асинхронность движений суставных компонентов справа и слева вызывает микроповреждения мягкотканых структур, формируя болевые ощущения в челюстно-лицевой области. Утрата моляров и премоляров сопровождается уменьшением межокклюзионного расстояния, вследствие чего мышечковые отростки мандибулы смещаются относительно суставных впадин височных костей. Длительное нарушение окклюзионных взаимоотношений зубных рядов и высоты прикуса неизбежно трансформируется в артрозные изменения височно-нижнечелюстного сустава с патологической дислокацией суставных головок [10].

Пациенты, страдающие заболеваниями височно-нижнечелюстного сустава, преимущественно отмечают акустические феномены при движении нижней челюсти. Локализация болевого синдрома варьирует от лицевой области до шейно-плечевого пояса, включая периаурикулярную зону. Характер алгического компонента различается по длительности и провоцирующим факторам, усиливаясь при функциональной нагрузке на зубочелюстной аппарат. Симптоматика патологического процесса включает цефалгию, одонталгию, парестезии в области лица. Современная классификация дисфункции височно-нижнечелюстного сустава базируется на разделении клинических признаков на артралгический синдром и внутрисуставные нарушения [11].

Болевой синдром при патологии височно-нижнечелюстного сустава характеризуется преимущественным поражением жевательных мышц без структурных изменений суставного аппарата, что напрямую связывается с миофасциальной дисфункцией лицевой мускулатуры. Пальпаторное обследование пораженной области выявляет характерные изменения мышечного тонуса, болезненность и уплотнение жевательных и мимических мышц. Манипуляционная диагностика массетера провоцирует иррадиацию болевых ощущений в челюстные структуры, область моляров, региональную зону иннервации ушной раковины, лобные отделы, сустав и шейно-плечевой пояс. Пальпация височной мышцы вызывает распространение болевого синдрома в ипсилатеральные отделы черепа, зону иннервации верхних зубов и орбитальную область.

Мышечно-суставные боли в области лица преимущественно возникают из-за повышенного тонуса жевательной мускулатуры, формирующего миофасциальный болевой синдром, при отсутствии структурных изменений височно-нижнечелюстного сустава. Методика диагностического обследования включает пальпацию определенных анатомических точек височной мышцы вдоль переднего края, центральной части и заднего отдела.

Аналогичным образом проводится исследование жевательной мышцы с акцентом на места прикрепления и среднюю зону. Мануальное обследование выполняется одним или двумя пальцами с равномерным надавливанием продолжительностью пять секунд на каждую точку.

Диагностика артралгии требует тщательного определения источника болевых ощущений в области лица. Медицинское обследование включает проверку реакции пациента на пальпацию височно-нижнечелюстного сустава, максимальное раскрытие ротовой полости, латеральные движения нижней челюсти. Комплексная диагностика патологий височно-нижнечелюстного сустава базируется на результатах клинических исследований, ортопантограмм, конусно-лучевой компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии сустава. Лечебный процесс включает восстановительные процедуры зубного ряда, применение специализированных разобщающих капп, сеансы низкоинтенсивной лазерной терапии совместно с назначением нестероидных противовоспалительных средств, миорелаксантов, чрескожной электронной стимуляции. Пациентам рекомендуется развивать навыки самоконтроля над бруксизмом путем отслеживания моментов непроизвольного сжатия зубов для предотвращения дальнейшего развития патологического процесса.

Инъекционная терапия ботулотоксином типа А зарекомендовала себя как эффективный метод лечения выраженного миофасциального болевого синдрома. Введение препарата способствует релаксации жевательной мускулатуры, купированию болевого синдрома и значительному снижению интенсивности бруксизма, предупреждая развитие патологических изменений в височно-нижнечелюстном суставе.

Патологическая фиксация нижней челюсти к височной кости, именуемая анкилозом височно-нижнечелюстного сустава, формируется вследствие образования фиброзных тканей либо костных сращения суставных головок. Нарушение подвижности челюстного аппарата существенно затрудняет процессы жевания, артикуляции речи, дыхания, деформируя лицевой скелет. Статистические данные свидетельствуют о преимущественном поражении мальчиков и юношей данной патологией.

Научные исследования К.Е. Никуличева демонстрируют многофакторность этиологии заболевания. Механические травмы, воспалительные процессы суставов, наследственные аномалии развития, последствия хирургических манипуляций и лучевой терапии приводят к структурно-функциональным изменениям сустава с последующим развитием анкилоза.

Гнойные воспаления капсулы сустава, костной ткани височно-нижнечелюстного сочленения, включая артриты

и остеомиелиты, становятся ведущими причинами патологии. Заболевания ЛОР-органов, такие как флегмоны, отиты, мастоидиты, также способствуют формированию анкилоза. Младенческий сепсис выступает значимым фактором развития патологии у детей. Взрослые пациенты приобретают анкилоз преимущественно вследствие травматических повреждений области сустава, включая переломы, огнестрельные ранения и ушибы.

Анкилоз височно-нижнечелюстного сустава проявляется множественными симптомами. Пациенты испытывают существенное ограничение подвижности нижней челюсти, затрудняющее открывание рта и жевательные движения. Болевые ощущения усиливаются при попытках широко открыть рот или совершить боковые движения челюстью. Мышечный спазм в области сустава приводит к нарушению артикуляции и затруднению речи. Асимметрия лица развивается вследствие деформации челюстных структур. Характерными признаками выступают щелканье и хруст в суставе при движении, сопровождающиеся дискомфортом. Нарушение прикуса существенно влияет на процесс пережевывания пищи и качество жизни пациента [7,9]. Нарушение функции височно-нижнечелюстного сустава проявляется затруднением открывания рта, сложностями при жевании и разговоре. Пациенты отмечают болезненные ощущения в области сустава, усиливающиеся при движении или пальпации. Характерным признаком патологических изменений служит появление хруста при движении нижней челюстью.

Развитие заболевания сопровождается воспалительным процессом, отеком околоуставных тканей. Прогрессирование патологического процесса приводит к асимметрии лица вследствие структурных изменений сустава. Нарушение функции проявляется блокировкой движений, щелчками при открывании рта, болевым синдромом, мигренозными приступами.

Затруднение дыхания во время сна вызывает храп, эпизоды апноэ, смещение языка кзади. Недостаточная гигиена ротовой полости способствует образованию зубных отложений, развитию кариеса, воспалительных заболеваний десен.

Формирование анкилоза в детском возрасте нарушает правильное развитие зубочелюстной системы. Односторонний процесс вызывает смещение средней линии, перекрестный прикус. Двусторонний анкилоз приводит к недоразвитию нижней челюсти, формированию дистального прикуса.

Согласно исследованиям С.П. Рубникова, И.Н. Баудиной, Н.С. Сердюченко, диагностический комплекс включает клиническое обследование с оценкой подвижности сустава, рентгенографию для выявления костных

изменений. Компьютерная и магнитно-резонансная томография позволяют детально визуализировать структуру сустава. Лабораторная диагностика определяет наличие воспалительного процесса. Электромиография оценивает состояние мышечной и нервной систем.

Недостаточная систематизация диагностических мероприятий височно-нижнечелюстного сустава способствует усугублению патологических процессов. Методология обследования пациентов с дисфункцией ВНЧС претерпела значительную эволюцию, пройдя множество стадий развития.

Магнитно-резонансная томография предоставляет возможность детального исследования головного и спинного мозга, внутренних органов пациента в течение двадцати-тридцати минут, а при необходимости длительность процедуры может увеличиваться. Передовые разработки в области МРТ-диагностики позволяют проводить бесконтактные исследования физиологических процессов организма, включая измерение параметров кровотока, движения ликвора, степени диффузии тканей. Функциональная магнитно-резонансная томография демонстрирует активность различных зон коры головного мозга при работе контролируемых ими органов. Диагностика височно-нижнечелюстного сустава методом МРТ обеспечивает визуализацию патологических изменений мягких и костных структур верхней и нижней челюстей, включая детальное исследование самого сустава.

Магнитно-резонансная томография зарекомендовала себя как ведущий диагностический метод исследования челюстно-лицевой области в современной медицинской практике. Многолетний клинический опыт подтверждает высокую эффективность МРТ-диагностики при обследовании костных структур челюсти благодаря детальной визуализации патологических изменений мягких тканей.

Магнитно-резонансная томография челюстно-лицевой области зарекомендовала себя как передовой метод диагностики благодаря многочисленным преимуществам. Современное оборудование обеспечивает максимальную точность исследования при полном отсутствии ионизирующего излучения, гарантируя абсолютную безопасность пациентов. Достоверность полученных результатов сочетается с высокой детализацией изображений, позволяющей врачам получить исчерпывающую информацию о состоянии тканей. Минимальное воздействие на организм делает процедуру пригодной для регулярного мониторинга здоровья. Ранняя диагностика патологических изменений суставов лицевого скелета, включая воспалительные процессы, новообразования и инфекционные поражения, становится доступной благодаря высокой чувствительности метода.

Магнитно-резонансная томография служит эффективным методом диагностики дегенеративных патологий височно-нижнечелюстного сустава, выявляя структурные нарушения суставных поверхностей, внутрисуставного диска и связочного аппарата. Исследование позволяет визуализировать изменения костной ткани, хрящевых структур, определить степень смещения суставного диска и оценить состояние капсульно-связочного аппарата. Методика дает возможность обнаружить воспалительные процессы, дистрофические изменения, последствия травматических повреждений и врожденные аномалии развития сустава.

Патологические изменения челюстно-лицевой области включают широкий спектр заболеваний. Среди новообразований различают злокачественные и доброкачественные формы, требующие дифференцированного подхода к диагностике и лечению. Височно-нижнечелюстной сустав подвержен дегенеративно-дистрофическим изменениям, проявляющимся артрозом и артритом различной степени выраженности. Анкилоз сустава характеризуется ограничением подвижности и существенно снижает качество жизни пациентов. Мышечно-суставная дисфункция затрагивает биомеханику движений нижней челюсти, нарушая жевательную функцию. Деструктивные процессы суставного хряща приводят к его истончению и разрушению. Патологическая подвижность суставной капсулы проявляется выворотами в полость сочленения. Дислокация суставных дисков нарушает нормальную биомеханику сустава, вызывая болевой синдром и функциональные расстройства.

Магнитно-резонансная томография с введением контрастного вещества требует учета дополнительных медицинских ограничений, помимо стандартных противопоказаний к процедуре МРТ. Медицинские специалисты должны тщательно оценивать возможность проведения контрастного исследования у каждого пациента, принимая во внимание индивидуальные особенности здоровья и анамнез.

Медицинские противопоказания к применению контрастных веществ включают несколько серьезных состояний. Нарушение целостности эритроцитов при гемолитической анемии создает значительные риски осложнений. Пациенты с индивидуальной реакцией на составляющие контрастных препаратов нуждаются в альтернативных методах диагностики. Нарушение выделительной функции почек при хронической недостаточности существенно замедляет выведение контрастного вещества из организма. Проникновение контрастных агентов через плацентарный барьер и недостаточная изученность их воздействия на развивающийся плод обуславливают запрет на применение во время беременности независимо от триместра.

Магнитно-резонансная диагностика допускается при определенных условиях, несмотря на присутствие металлических элементов в организме пациента. Металлические компоненты, включая зубные протезы, штифты, имплантаты и ортодонтические конструкции, способны создавать помехи в работе томографа, искажая получаемые данные. Квалифицированный рентгенолог должен быть заранее проинформирован о наличии подобных конструкций для корректной настройки оборудования. Современные томографы последнего поколения позволяют минимизировать влияние металлических элементов на качество снимков благодаря специальным программным алгоритмам [12].

С.П. Рубникович, И.Н. Барадина, Н.С. Сердюченко во время исследований диагностики заболеваний височно-нижнечелюстного сустава выделяли, что для диагностики анкилоза височно-нижнечелюстного сустава обычно используются:

1. Клиническое обследование: врач проводит осмотр пациента, оценивает подвижность сустава, ищет признаки воспаления, боли, отека и деформации лица.
2. Рентгенография: рентгеновское исследование позволяет оценить состояние костей и суставов, выявить изменения в структуре сустава, наличие костных наростов и анкилоза.
3. Компьютерная томография (КТ) или магнитно-резонансная томография (МРТ): эти методы позволяют получить более детальное изображение структуры сустава, окружающих тканей и определить степень анкилоза.
4. Лабораторные анализы: общий анализ крови может помочь выявить признаки воспаления, также могут быть назначены биохимические анализы для оценки общего состояния организма.
5. Электромиография (ЭМГ): это метод позволяет оценить функцию мышц, иннервацию и работу нервов, что может быть полезно при диагностике анкилоза [6].

Магнитно-резонансная томография челюстного сустава позволяет врачам проводить точную диагностику патологических изменений и функциональных нарушений височно-нижнечелюстного аппарата. Современное оборудование создает высококачественные трехмерные снимки исследуемой области, предоставляя специалистам возможность детально изучить анатомическое строение и физиологические особенности сустава.

Диагностическое исследование группы пациентов, включавшей 24 человека с нарушениями височно-нижнечелюстного сустава, позволило сравнить результативность различных методов визуализации. Компьютерная томография выявила структурные изменения костной ткани с точностью 87 %, подтвердив высокую диагности-

ческую ценность метода. Магнитно-резонансная томография продемонстрировала превосходные показатели в визуализации мягких тканей, достигнув точности 92 % при обследовании суставных элементов. Первичная ультразвуковая диагностика, несмотря на меньшую информативность, обеспечила положительную идентификацию патологических изменений у 70 % обследованных пациентов. Методология выбора диагностического инструментария определяется спецификой клинического случая, характером предполагаемой патологии и необходимостью многофакторной оценки состояния височно-нижнечелюстного сустава.

Медицинская диагностика патологических изменений височно-нижнечелюстного сустава опирается на различные методы визуализации, среди которых компьютерная томография, магнитно-резонансная томография и ультразвуковое исследование занимают ведущие позиции. Клиническая практика демонстрирует особую значимость компьютерной томографии при обследовании костных элементов сустава, позволяющей создавать детализированные снимки черепных и нижнечелюстных структур. Данный метод существенно упрощает выявление травматических повреждений, остеомиелитических процессов и склеротических изменений костной ткани. Компьютерная томография, несмотря на превосходную визуализацию костных элементов, демонстрирует низкую эффективность при исследовании мягкотканых компонентов сустава, включая мускулатуру, связочный аппарат и суставные диски [5].

Магнитно-резонансная томография представляет высокоточный метод исследования мягкотканевых структур организма, позволяющий детально визуализировать дегенеративные процессы и воспалительные изменения в суставных дисках и окружающих тканях. Благодаря исключительной способности к дифференциации мягких тканей МРТ занимает ведущую позицию в диагностике артритов, дискозов и сопутствующих патологических состояний. Существенным фактором при проведении магнитно-резонансной томографии выступает длительность процедуры обследования, превышающая временные затраты компьютерной томографии, а интерпретация результатов требует глубоких профессиональных знаний специалиста-радиолога.

Ультразвуковая диагностика выступает значимым инструментом медицинской визуализации в клинической практике, дополняя компьютерную и магнитно-резонансную томографию. Мобильность аппаратуры, экономическая доступность и безопасность процедуры без лучевой нагрузки делают метод привлекательным для врачей. Диагностическая процедура позволяет моментально получать изображения мягкотканых структур организма, наблюдать физиологические процессы в режиме реального времени, существенно упрощая проведение малоинвазивных манипуляций. Результативность

исследования определяется профессиональной подготовкой специалиста и техническими характеристиками диагностического оборудования.

При наличии подозрений на злокачественные новообразования либо комплексные повреждения тканей врачи назначают компьютерную томографию или магнитно-резонансную томографию, позволяющие детально исследовать структурные изменения в организме [6].

При выборе оптимальных диагностических методов медицинские специалисты учитывают финансовые затраты пациентов, инфраструктурные возможности клиник и потенциальные медицинские риски. Ультразвуковая диагностика существенно выигрывает в экономическом плане перед компьютерной и магнитно-резонансной томографией. Медицинские протоколы рекомендуют начинать обследование с ультразвукового сканирования, постепенно переходя к расширенным томографическим исследованиям при наличии клинических показаний [13].

Диагностический процесс патологий височно-нижнечелюстного сустава начинается с тщательного сбора анамнестических данных и комплексного физикального осмотра пациента. Клиническая картина заболевания проявляется различными симптомами, включая болевой синдром, нарушение функциональности сустава, характерные щелкающие звуки при движениях нижней челюсти, цефалгию и ограничение подвижности. Многообразие клинических проявлений определяет индиви-

дуальный подход к выбору оптимальных диагностических методик [5].

Медицинская диагностика требует индивидуального подхода при выборе методов обследования пациентов. Квалифицированный специалист, основываясь на симптоматике и анамнезе, определяет оптимальную последовательность диагностических процедур. Компьютерная томография позволяет детально визуализировать костные структуры при травматических повреждениях и воспалительных процессах. Магнитно-резонансная томография становится методом выбора при патологических изменениях мягких тканей. Ультразвуковое исследование приобретает особую значимость в педиатрической практике и акушерстве, минимизируя лучевую нагрузку на организм.

Эффективность диагностических исследований височно-нижнечелюстного сустава зависит от множества факторов, включая материально-техническое оснащение медицинского учреждения и профессиональную подготовку специалистов. Комплексное применение компьютерной и магнитно-резонансной томографии позволяет получить детальную информацию о состоянии костных структур и мягкотканых компонентов сустава. Дифференцированный подход к выбору методов визуализации, основанный на клинической симптоматике и показаниях, обеспечивает максимальную диагностическую точность при патологических изменениях височно-нижнечелюстного сустава.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баданин В.В., Хватова В.А. К вопросу о функциональных нарушениях височно-нижнечелюстного сустава // Актуальные вопросы стоматологии: Сб. науч. тр. — М., 1998. — С. 40–41
2. Гаффоров С.А. Методы диагностики и лечения дисфункции височно-нижнечелюстного сустава / С.А. Гаффоров, О.М. Астанов // Stomatologiya. — 2020. — № 4. — С. 52–55.
3. Горячева Е.В. Морфология костных элементов височно-нижнечелюстного сустава / Е.В. Горячева, Е.А. Корецкая, О.О. Илюнина // Вестник Пензенского государственного университета. — 2023. — № 2(42). — С. 14–18
4. Горлова А.Ю. Причины развития патологии височно-нижнечелюстного сустава / А.Ю. Горлова // Научно-исследовательский центр «Technical Innovations». — 2022. — № 9–2. — С. 188–197.
5. Диагностика заболеваний височно-нижнечелюстного сустава / С.П. Рубникович, И.Н. Барадина, Н.С. Сердюченко [и др.]. — Минск: Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Белорусская наука», 2019. — 189 с.
6. Диагностика состояния элементов височно-нижнечелюстных суставов с помощью конусно-лучевой компьютерной томографии / С.П. Рубникович, И.Н. Барадина, Ю.Л. Денисова, Д.М. Бородин // Стоматологическая весна в Белгороде — 2022 : Сборник трудов Международной научно-практической конференции в рамках международного стоматологического фестиваля «Площадка безопасности стоматологического пациента», посвященного 100-летию Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, Белгород, 09 июня 2022 года. — Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2022. — С. 212–215.
7. Дробышев А.Ю. и др. Заболевания височно-нижнечелюстного сустава. Классификация, клиника, диагностика и лечение. — 2020.
8. Епифанов С.А., Зангиева О.Т., Высельцева Ю.В. Анкилоз височнонижнечелюстного сустава. — 2022.
9. Зангионова А.Т. Патологические процессы височно-нижнечелюстного сустава. Синовит / А.Т. Зангионова, М.Г. Дауров // Вестник науки. — 2023. — Т. 5, № 1(58). — С. 286–288.
10. Никуличев К.Е. Анкилоз височно-нижнечелюстного сустава: обзор литературы / К.Е. Никуличев, С.А. Салихаров, А.В. Смирнова // Проблемы современной науки и инновации. — 2024. — № 3. — С. 53–57.
11. Фадеев Р.А. Лучевые методы диагностики заболеваний височно-нижнечелюстного сустава / Р.А. Фадеев, К.А. Овсянников // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. — 2024. — Т. 16, № 1. — С. 13–24.
12. Юношева А.И. дисфункция височно-нижнечелюстного сустава / А.И. Юношева, С.В. Тихонов, В.А. Андриясов // МОЛОДОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ 2024: сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Пенза, 07 июня 2024 года. — Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. — С. 225–227.
13. Kamel Z.S.A.S.A., El-Shafey M.H.R., Hassanien O.A. et al. Can dynamic magnetic resonance imaging replace static magnetic resonance sequences in evaluation of temporomandibular joint dysfunction? Egypt J Radiol Nucl Med 52, 19 (2021). <https://doi.org/10.1186/s43055-020-00396-8>

© Гусенкадиева Камила Нажмудиновна (Kgusenkadiyeva@bk.ru); Улмасов Азизжон (dr.ulmasov91@gmail.com);  
Расулов Ибрагим Магомедкамильевич (prof\_rasulov@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ПРОБЛЕМЫ ХРОНИЗАЦИИ ПАТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

## PROBLEMS OF CHRONIC PATHOLOGICAL PROCESS

V. Karpin  
O. Shuvalova  
V. Kobets

*Summary.* Mechanisms of chronization of the pathological process are an actual problem of modern clinical medicine. Its rational solution will significantly increase the effectiveness of treatment and prevention of major internal diseases. The article presents the author's concept of one of the possible mechanisms of chronicizing pathological processes.

*Keywords:* acute and chronic diseases, their fundamental differences, possible mechanisms of chronization, dyskinetic concept.

**Карпин Владимир Александрович**

доктор медицинских наук,  
Сургутский государственный университет  
kafter57@mail.ru

**Шувалова Ольга Ивановна**

кандидат медицинских наук,  
Сургутский государственный университет  
shuvalova78@mail.ru

**Кобец Виктор Юрьевич**

Медицинская академия,  
Крымский федеральный университет  
danviko@eandex.ru

*Аннотация.* Механизмы хронизации патологического процесса — актуальная проблема современной клинической медицины. Ее рациональное решение позволит значительно повысить эффективность лечения и профилактики важнейших внутренних болезней. В статье приводится авторская концепция одного из возможных механизмов хронизации патологических процессов.

*Ключевые слова:* острые и хронические заболевания, их фундаментальные отличия, возможные механизмы хронизации, дискинетическая концепция.

Возникновение и развитие хронических заболеваний внутренних органов является одной из центральных проблем современной клинической медицины. Почему в одних случаях патологический процесс протекает остро и быстро заканчивается выздоровлением, подчас полным (если не наступает гибель организма), а в других случаях развивается как хронический патологический процесс? Какова связь между ними и может ли принципиально острый патологический процесс перейти в хронический?

Острым заболеванием может заболеть любой человек при взаимодействии определенных причин и условий, а хроническим? Какие условия необходимо создать для развития хронического патологического процесса? В-общем понятно, что биосистема своими приспособительными механизмами не в состоянии элиминировать патогенный фактор в силу определенных причин и стремится его отграничить, изолировать, сохраняя постоянную тенденцию к восстановлению тканевого гомеостаза, к самосохранению.

Здесь мы стоим на позиции, что острый и хронический патологические процессы имеют свои особенности этиологии и патогенеза, и возможность перехода острого заболевания в хроническое, с нашей точки зрения, является весьма проблематичной.

Материальной основой *острого* заболевания служат стереотипные, « типовые » патологические процессы.

Классическим примером является острое воспаление: триггерный эффект повреждающего фактора, а далее — стереотипная цепь последовательных реакций, выработанных в процессе эволюции.

Однако эта концепция не может объяснить механизмы развития *хронического* патологического процесса; здесь вступают в силу другие законы. Персистенция причинного фактора препятствует возвращению системы в исходное состояние, и приспособительные механизмы на фоне прогрессирования патологического процесса периодически (фазы обострения и ремиссии) « ищут » оптимальный режим ее функционирования в новых условиях существования.

В нелинейной среде могут возникнуть только те структуры, которые отвечают собственным тенденциям развития процессов в данной среде в данное время. Не только внешние силы заставляют организм изменяться: существуют и внутренние закономерности развития, характерные для данной биосистемы направления процессов, которые по мере накопления количественных изменений в системе при превышении некоторого критического порога обуславливают ее переход к качественно новому состоянию.

С точки зрения теории патологического процесса экстремальное взаимодействие биосистемы с окружающей средой может привести ее в неустойчивое состо-

ание. При *остром* патологическом процессе система стремится вернуться в исходное устойчивое состояние (выздоровление), включая стереотип приспособительных реакций, или разрушается при необратимом повреждении.

Что же происходит при *хроническом* патологическом процессе? Здесь должен быть качественно другой механизм. Длительное подпороговое воздействие патогенного фактора (персистенция) по мере накопления количественных изменений в системе может превысить критический порог, обуславливая переход системы в неустойчивое состояние. Здесь существенную роль начинает играть тот факт, что в период неустойчивого состояния снижается резистентность системы к воздействию факторов риска (условия), и относительно малые возмущения могут привести к развитию патологического процесса. Обладая внутренней активностью и множеством потенциальных путей направления развития процесса, система «подбирает» в соответствии с характером длительно воздействующего причинного фактора оптимальный вариант, приходя в относительно устойчивое состояние, но на качественно новом уровне. В этом заключается сущность приспособительного механизма хронизации патологического процесса с точки зрения современной теории систем.

#### Дискинетическая концепция хронизации внутренних болезней

Раскрытие механизмов хронизации патологического процесса является одной из ключевых проблем современной клинической медицины. Эта обще патологическая проблема, несмотря на многочисленные попытки ее разрешения, продолжает отличаться неясностью и противоречивостью суждений. Применение системы методологических принципов позволяет выявить и обосновать интимные механизмы, лежащие в основе возникновения и развития хронических заболеваний внутренних органов.

Системный подход к анализу жизнедеятельности человеческого организма, определение возрастающей роли *внутренней* активности по мере усложнения биологической системы позволяет выдвинуть концепцию примата внутреннего фактора над внешним при их взаимодействии, результатом которого является возникновение и развитие хронического патологического процесса. Недооценка внутренней активности биосистемы в «организации» патологического процесса сразу уведит исследователей в сторону от истинного пути к раскрытию патогенетических механизмов хронических заболеваний внутренних органов, а также приводит к существенным ошибкам при разработке лечебно-профилактических мероприятий.

Исходя из методологического принципа причинности, мы утверждаем, что в основе возникновения хронического патологического процесса должен лежать определенный внутренний, длительно действующий «хронизирующий» причинный фактор, поддерживающий патоген и мешающий защитным факторам организма реализовать свое саногенное действие. Остальные факторы, принимающие участие в этиологии хронического внутреннего заболевания, играют лишь роль условий, способствующих реализации этого причинного фактора.

Возьмем основные исполнительные системы организма — кровеносную, дыхательную, пищеварительную и мочевыделительную. Что их объединяет? При схематическом абстрактном анализе их можно представить как системы трубок, по которым движутся жидкости или воздушные массы (гидродинамика, аэродинамика). По нашему мнению, *стойкое* нарушение этой динамики как результат взаимодействия всех внутренних и внешних факторов — главная причина развития хронического патологического процесса в этих системах: хроническое нарушение гемодинамики (атеросклероз); уродинамики (хронический нефрит); моторики желудочно-кишечного тракта — рефлюкс-синдром (хронический гастрит); нарушения мукоцилиарного клиренса (хронический бронхит) и т.д.

Представленные выше теоретико-методологические аспекты позволили нам разработать гипотезу «дискинетической концепции хронизации внутренних болезней», суть которой сводится к следующему. Достаточно длительное нарушение динамики в трубчатых системах способствует прежде всего стойкому приспособительному отклонению тканевого гомеостаза, а следовательно, изменению (нарушению) барьерной функции эндотелия сосудистой стенки и слизистых оболочек, способствуя реализации патогенного эффекта перманентных возмущающих факторов, воздействующих на эндотелий извне. Известно и доказано, что неповрежденный эндотелий и ненарушенная динамика в трубчатых системах препятствуют реализации и хронизации патогенных эффектов.

Проанализируем представленную концепцию на конкретных примерах.

**Желчевыводящая система.** К хроническому холециститу ведут застой желчи и изменение ее физико-химических свойств; к такой измененной желчи может присоединяться инфекция. Воспалительный процесс может провоцироваться камнем, аномалией развития, дискинезией желчного пузыря. Калькулезный холецистит чреват обтурацией желчного протока с последующим развитием холестаза в желчных путях [9, с. 408–409].

Снижение сократительной функции желчного пузыря приводит к стазу желчи и облегчает камнеобразова-

ние; оно также вносит свой вклад в патогенез острого и хронического холецистита [11]. Холестаз в желчных путях, вызванный различными причинами, из которых наиболее частой является *обструкция желчных протоков*, может приводить к развитию хронического холангита [2], [10].

Иммуноопосредованные холангиопатии также вызывают деструкцию и редукцию мелких желчных протоков, поэтому их в англоязычной литературе часто называют «болезни исчезающих желчных протоков»; они включают первичный билиарный цирроз печени, первичный склерозирующий холангит, аутоиммунный холангит [24].

Билиарный тракт в норме стерилен; закупоренное желчное дерево довольно быстро заселяется микроорганизмами; у пациентов с холециститами часто выявляются толерантные к желчи бактерии, которые могут индуцировать хроническую инфекцию в желчных путях, проникая туда путем *рефлюкса* из ДПК [18].

В норме желчная и панкреатическая системы независимы, т.е. желчь не течет ретроградно в проток поджелудочной железы, а панкреатический сок не попадает в желчевыводящие протоки [2]. Аномальное соединение панкреатобилиарных протоков приводит к хроническому рефлюксу панкреатического сока, который вызывает гиперплазию, кишечную метаплазию и дисплазию слизистой оболочки билиарного тракта. Хроническая холестатическая болезнь может осложниться гепатобилиарной малигнизацией [26].

**Панкреатическая система.** До настоящего времени отсутствует единый взгляд на механизмы возникновения и развития хронического панкреатита (ХП). Обсуждается несколько концепций: токсико-метаболическая (на первом месте здесь стоит злоупотребление алкоголем), оксидативного стресса, генетическая, аутоиммунная, концепция обструкции протоков [3], [25]. Однако при ближайшем рассмотрении различные причины развития хронического патологического процесса вызывают сходный *дискинетический* механизм.

Возникновение и развитие ХП может быть связано с закупоркой главного протока поджелудочной железы в связи со стенозом, камнями или опухолью. Иногда вследствие тяжелого острого панкреатита развивается стенозирование протока, достаточное, чтобы нарушился отток панкреатического секрета, что также может приводить к развитию ХП [1], [4].

Хроническое воспаление и фиброз при алкогольном ХП могут быть вызваны частичной обструкцией панкреатических протоков; злоупотребление алкоголем может приводить к формированию мелких пробок, блокирующих отток содержимого из протоков [3], [22]. При микро-

скопическом исследовании ранние изменения представлены стриктурами протоков, наличием в их просветах белковых преципитатов и воспалительного экссудата. В дальнейшем преципитаты обызвествляются; образующиеся камни закупоривают панкреатические протоки, вызывая атрофию и фиброз ацинусов, дренируемых пораженными протоками [6, с. 704–705].

У больных аутоиммунным ХП также обнаружено сужение главного панкреатического протока [16]. При идиопатическом ХП также обнаружены патологические изменения не только в паренхиме, но и в протоках поджелудочной железы [14]. авторы называют этот вид панкреатита «хронический панкреатит малых протоков».

По мнению В.М. Махова, различные клинические формы ХП имеют ряд общих патогенетических звеньев *обструктивного* характера, таких как дуоденальная дисмоторика, дисфункция сфинктера Одди, патология желчных путей. К свойственным ХП структурным изменениям автор относит *деформацию панкреатических протоков* — стриктуры, белковые преципитаты, кальцинаты и псевдокисты. Даже при алкогольных ХП, помимо хронического токсического воздействия этанола на паренхиму железы, прямое воздействие алкоголя на большой дуоденальный сосочек приводит к спазму сфинктера Одди. Кроме того, хроническая алкогольная интоксикация сопровождается развитием дуоденита с нарушением моторики ДПК. Это приводит к затруднению оттока панкреатического сока и повышению внутрипротокового давления [5].

Описан редкий случай гетеротопического расположения поджелудочной железы с обструкцией большого дуоденального сосочка; микроскопически при этом обнаруживались признаки диффузного ХП [20].

Таким образом, местом первоначального повреждения в поджелудочной железе при хроническом панкреатите может являться *панкреатический проток*.

**Мочевыводящая система.** В основе развития хронического пиелонефрита (ХПН) лежит *нарушение уродинамики*. Все случаи пиелонефрита носят характер восходящего урогенного процесса. Среди причин восхождения инфекции называют *обструкцию мочевыводящих путей* и *рефлюксы* различного уровня. ХПН — это заболевание нарушенной уродинамики в сочетании с инфекцией [7], [8], [12], [13], [19], [23].

По мнению М.А. Пальцева и Н.М. Аничкова, восходящая инфекция — наиболее распространенная причина ХПН. В норме полость мочевого пузыря и содержащаяся в ней моча стерильны. К инфицированию мочевыводящих путей может приводить обструкция нижних отделов мочевого тракта (гиперплазия простаты, камни и опу-

холи), но именно везикоуретеральный рефлюкс служит основной причиной проникновения бактерий по мочеточникам в лоханки и паренхиму почек. Авторы прямо выделяют две формы ХПН: хронический *обструктивный* и хронический *рефлюксный* пиелонефрит, причем последний они относят к наиболее распространенным формам ХПН [6, с. 61–67].

Простое введение бактерий в мочевой пузырь в эксперименте не приводит к развитию инфекции, что объясняется бактерицидными свойствами мочи, а также способностью уротелия фагоцитировать микробные тела. Кроме того, инфекция не может проникнуть в вышележащие отделы при отсутствии рефлюксов [7, с. 250–251]. Стойкое повышение давления в мочевыводящей системе и рефлюкс вызывают снижение барьерной функции слизистой оболочки.

Гистологическое исследование подтвердило морфологические признаки ХПН у всех обследованных больных с везикоуретеральным рефлюксом, причем выраженность почечного повреждения тесно коррелировала с тяжестью рефлюкса [17]. На основании анализа биопта-

тов установлено, что при наличии везикоуретерального рефлюкса даже после пересадки почек в ряде случаев при длительном наблюдении появлялись изменения в почечном трансплантате, характерные для ХПН [21].

### Заключение

Представленные материалы целого ряда исследований, посвященных нарушениям динамики микросред при хронических заболеваниях внутренних органов, показывают их ведущую роль в возникновении и развитии хронического патологического процесса. Тем не менее ни один из исследователей не смог увидеть этиологической значимости дискинезии в хронизации болезней.

Проведенный анализ доказывает, что дискинезия трубчатых систем может играть решающую роль в хронизации заболеваний внутренних органов. Эта концепция должна внести существенные коррективы в программы научных исследований и лечебно-профилактических мероприятий в области современной внутренней медицины.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бэнкс П.Э. Панкреатит // Руководство по медицине: Диагностика и терапия. В 2 т.: Пер. сангл. / Под ред. Р. Беркоу и Э. Флетчера. М.: Мир, 1997. Т. 1. С. 541–545.
2. Веннес Д.А. Холецистит // Руководство по медицине: Диагностика и терапия. В 2 т.: Пер. сангл. / Под ред. Р. Беркоу и Э. Флетчера. М.: Мир, 1997. Т. 1. С. 631–634.
3. Жуков Н.А., Ахмедов В.А., Ширинская Н.В., Жукова Е.Н. Хронический панкреатит и факторы, определяющие его развитие // Тер. арх. 2003. Т. 75, № 2. С. 73–77.
4. Маев И.В., Кучерявый Ю.А. Острый и хронический панкреатит, рак поджелудочной железы — цепь последовательных событий или самостоятельное заболевание? // Клини. мед. 2005. № 2. С. 12–16.
5. Махов В.М. Этиологические аспекты диагностики и лечения хронического панкреатита // Рос. мед. журн. 2002. № 2. С. 3–8.
6. Пальцев М.А., Аничков Н.М. Патологическая анатомия. В 2 т. Т. 2, ч. 1. М.: Медицина, 2001. 736 с.
7. Рябов С.И. Нефрология. СПб.: СпецЛит, 2000. С. 244–291.
8. Шулуто Б.И. Пиелонефрит // Болезни печени и почек. СПб.: РЕНОР, 1995. С. 269–294.
9. Шулуто Б.И., Макаренко С.В. Стандарты диагностики и лечения внутренних болезней. СПб.: Элби-СПб., 2003. 734 с.
10. Al-Taie O. Diagnosis and treatment of extrahepatic cholestasis // MMW Fortschr. Med. 2004. Vol. 146, № 23. P. 38–40.
11. Behar J. Clinical aspects of gallbladder motor function and dysfunction // Curr. Gastroenterol. Rep. 1999. Vol. 1, № 2. P. 91–94.
12. Bitz H., Darmon D., Goldfarb M. et al. Transient urethral obstruction predisposes to ascending pyelonephritis and tubulo-interstitial disease: studies in rats // Urol. Res. 2001. Vol. 29, № 1. P. 67–73.
13. Brown S., Marshall D., Patterson D., Cunningham A.M. Chronic pyelonephritis in association with neuropathic bladder // Eur. Pediatr. Surg. 1999. № 9. P. 29–30.
14. Draganov P., Toskes P.P. Chronic pancreatitis controversies in etiology, diagnosis and treatment // Rev. Esp. Enferm. Dig. 2004. Vol. 96, № 9. P. 649–654.
15. Jones B.A., Gores G.J. Hepatobiliary malignancy // Clin. Liver Dis. 1998. Vol. 2, № 2. P. 437–449.
16. Kim K.P., Kim M.N., Song M.N. et al. Autoimmune chronic pancreatitis // Am. J. Gastroenterol. 2004. Vol. 99, № 8. P. 1605–1616.
17. Kohler J., Thysell H., Tencer J. et al. Long-term follow-up of reflux nephropathy in adults with vesicoureteral reflux — radiological and pathoanatomical analysis // Acta Radiol. 2001. Vol. 42, № 4. P. 355–364.
18. Ljungh A., Wadstorm T. The role of microorganisms in biliary tract disease // Curr. Gastroenterol. Rep. 2002. Vol. 4, № 2. P. 167–171.
19. Matsumoto T., Takahashi K., Manabe N. et al. Urinary tract infection in neurogenic bladder // Int. J. Antimicrob. Agents. 2001. Vol. 17, № 4. P. 293–297.
20. Obermaier R., Walch A., Kurtz C. et al. Heterotopic pancreatitis with obstruction of the major duodenal papilla — a rare trigger of obstructive orthotopic pancreatitis // Pancreatol. 2004. Vol. 4, № 3–4. P. 244–248.
21. Ohba K., Matsuo M., Noguchi M. et al. Clinicopathological study of vesicoureteral reflux (VUR)-associated pyelonephritis in renal transplantation // Clin. Transplant. 2004. Vol. 18, Suppl. 11. P. 34–38.
22. Orue N., Whitcomb D.C. Theories, mechanisms, and models of alcoholic pancreatitis // Gastroenterol. Clin. North Am. 2004. Vol. 33, № 4. P. 733–750.
23. Rossleigh M.A. Urinary tract infection and other pediatric consideration // Q. J. Nucl. Med. 2002. Vol. 46, № 4. P. 304–310.
24. Sherlock S. Overview of chronic cholestatic conditions in adults: Terminology and definitions // Clin. Liver Dis. — 1998. Vol. 2, № 2. P. 217–233.
25. Stevens T., Conwell D.L., Zuccaro G. Pathogenesis of chronic pancreatitis: an evidence-based review of past theories and recent development // Am. J. Gastroenterol. 2004. Vol. 99, № 11. P. 2256–2270.
26. Tazuma S., Kajiyama G. Carcinogenesis of malignant lesions of the gall bladder. The impact of chronic inflammation and gallstones // Landenbecks. Arch. Surg. 2001. Vol. 386, № 3. P. 224–229.

© Карпин Владимир Александрович (kafter57@mail.ru); Шувалова Ольга Ивановна (shuvalova78@mail.ru);

Кобец Виктор Юрьевич (danviko@eandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ АРТЕРИЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ В ПРАКТИКЕ ВРАЧА-ТЕРАПЕВТА

## DIAGNOSIS OF LOWER EXTREMITY ARTERY DISEASES IN PRACTICE OF GENERAL PRACTITIONER

**A. Likhachev  
K. Borisova  
S. Iureva  
A. Iureva  
I. Khlopina**

*Summary.* These days witness a steady increase in the prevalence of cardiovascular diseases (CVD), associated with an increased risk factors and life expectancy of the population, improved diagnostic methods. This category also includes lower extremity artery diseases, which in their initial stages may remain asymptomatic for a long time. This feature creates serious difficulties for their diagnosis at the outpatient stage. According to many authors, the study of the ankle-brachial index as the main screening method has not been sufficiently implemented in the practice of a general practitioner, while clear indications for its initiation have not been established. These may include the presence of many risk factors (RF) for cardiovascular diseases, as well as the clinical picture, which can be assessed using specially designed questionnaires.

*Keywords:* ankle-brachial index, risk factors, outpatient practice, lower extremity artery disease.

**Лихачев Александр Сергеевич**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Северный государственный  
медицинский университет»  
licha4evas@yandex.ru

**Борисова Ксения Владимировна**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Северный государственный  
медицинский университет»  
ksyou.b@mail.ru

**Юрьева Светлана Владимировна**

Кандидат медицинских наук, доцент, Федеральное  
государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Северный  
государственный медицинский университет»  
silviya5@yandex.ru

**Юрьева Анастасия Ильинична**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
Российский Университет Медицины  
nastyaurieva02022006@gmail.com

**Хлопина Инна Анатольевна**

Кандидат медицинских наук, доцент, Федеральное  
государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Северный  
государственный медицинский университет»  
hlopina@yandex.ru

*Аннотация.* В настоящее время идет неуклонный рост распространенности сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), что связано с увеличением факторов риска и продолжительности жизни населения, улучшением методов диагностики. В эту категорию входят и заболевания артерий нижних конечностей, которые на начальных стадиях могут долгое время оставаться бессимптомными. Эта особенность создает серьезные трудности для их диагностики на амбулаторном этапе. Исследование лодыжечно-плечевого индекса как основного скринингового метода, по мнению многих авторов, недостаточно внедрено в практику врача терапевта, в то время как четкие показания для инициации его проведения не установлены. Таковыми могут служить наличие большого количества факторов риска (ФР) сердечно-сосудистых заболеваний, а также клиническая картина, которая поддается оценке с помощью специально разработанных опросников.

*Ключевые слова:* лодыжечно-плечевой индекс, факторы риска, амбулаторная практика, заболевания артерий нижних конечностей.

## Актуальность

**В**о многих странах мира, включая Россию, отмечается тенденция «постарения населения»: растет доля граждан пожилого возраста в общей численности населения. По данным Всемирной организации здравоохранения, прогнозируется значительный рост числа людей старше 60 лет — с 12 % от общего количества жителей мира в 2015 году до почти четверти, то есть 22 %, к 2050-му. Численность населения пожилого возраста будет составлять около 1,4 млрд человек против 1 млрд человек в 2020 г. [1]. Данная статистика подчеркивает важность продвижения инициатив, направленных на улучшение качества жизни пожилых людей, включая активное использование скрининговых методов диагностики для своевременного выявления различных заболеваний.

Так, заболевания артерий нижних конечностей (ЗАНК) занимают одну из лидирующих позиций среди наиболее распространенных причин сердечно-сосудистой заболеваемости, поражая более 230 миллионов взрослых в мире, уступая лишь ишемической болезни сердца и инсульту [2]. С 1990 по 2019 гг. количество зарегистрированных случаев заболевания увеличилось на 72 % [3].

ЗАНК — это группа болезней, в основе которых лежит постепенное сужение просвета артерий конечностей, что приводит к возникновению синдрома хронической ишемии [4]. Самой распространённой причиной данной нозологии является атеросклероз, системный процесс, который зачастую поражает несколько сосудистых бассейнов, в том числе и коронарные сосуды. В исследовании Aragon Workers' Health Study (AWHS) было установлено, что атеросклеротическое поражение бедренных артерий в большей степени ассоциировано с наличием традиционных кардиоваскулярных ФР, чем атеросклероз сонных артерий и отличается лучшей предиктивной ценностью в отношении наличия кальцификации коронарных артерий [5]. Таким образом, скрининг на наличие ЗАНК в амбулаторной практике может быть перспективным и в отношении прогнозирования коронарной болезни.

В соответствии с национальными рекомендациями по диагностике и лечению заболеваний артерий нижних конечностей измерение ЛПИ является основным неинвазивным методом постановки диагноза ЗАНК [6]. В руководстве европейского общества кардиологов подчеркивается, что осциллометрический и доплеровский методы диагностики показали высокую степень согласованности в определении данного количественного показателя [3]. ЛПИ является предиктором сердечно-сосудистых осложнений и отражает состояние кровотока в артериях нижних конечностей. Чувствительность

метода высокая, до 75 %, специфичность — до 86 % [6]. Показатели ЛПИ в покое равные 0,9 и менее следует интерпретировать как ненормальные, 0,91–0,99 — пограничные, 1,00–1,40 — нормальные, более 1,4 как недопустимые для компрессии [6].

Особое значение измерение ЛПИ имеет в случае начальной стадии заболевания — асимптомном течении, при котором имеются атеросклеротическое поражение артерий, однако сужение просвета сосудов гемодинамически незначимо и не приводит к клинически выраженной хронической ишемии конечности. По существующим данным, только 10–30 % пациентов отмечают классический клинический признак ЗАНК — типичную перемежающуюся хромоту. У 20–50 % пациентов отмечается асимптомное течение, у 40–50 % заболевание протекает с нетипичными симптомами. Таким образом, использование только скрининговых методов, основанных на клинических проявлениях ЗАНК, например — Эдинбургский опросник по перемежающейся хромоте (The Edinburgh Claudication Questionnaire, ECQ) — в случае таких пациентов могут быть малоэффективными без измерения ЛПИ [7,8]. Однако, несмотря на все преимущества использования ЛПИ, в реальной жизни этот метод имеет ряд ограничений. Согласно опросам, 84 % практикующих врачей отмечают нехватку времени амбулаторного приема на проведение этого метода, 72 % опрошенных указывают на недостаточную подготовленность. [9]

В амбулаторной практике дополнительным инструментом, позволяющим заподозрить ЗАНК, являются факторы риска. В настоящий момент достаточно хорошо изучено влияние традиционных ФР, к которым относят: возраст, семейную предрасположенность, табакокурение, пол, гиперхолестеринемию, артериальную гипертензию и сахарный диабет [3]. Для удобства их оценки разработаны специальные рискметры, такие как шкала SCORE, Фрамингемская шкала оценки риска (Framingham risk score, FRS) (США), Reynolds (США) и другие. Они дают возможность быстро и комплексно оценить имеющиеся у пациента факторы риска, являются достаточно точными и должны быть специфичными для страны, в которой используются. Однако эти шкалы не учитывают нетрадиционные факторы риска, влияние которых на данный момент активно изучается. Так, например большую роль могут играть хронический стресс, депрессивные состояния, которые способны влиять на поведение человека и приводить к табакокурению, неправильному питанию, недостаточной физической активности, низкой приверженности к лечению. По данным отечественных исследований, тревожная симптоматика наблюдалась у 53,2 % пациентов с облитерирующими заболеваниями артерий [8].

Цель: оценить распространённость факторов риска заболеваний артерий нижних конечностей и опреде-

лить лодыжечно-плечевой индекс у пациентов, обратившихся на прием к участковому врачу-терапевту.

### Материалы и методы

В исследование методом случайной выборки было включено 100 пациентов (50 мужчин, 50 женщин), обратившихся на прием к участковому-терапевту в ГБУЗ АО «Архангельская городская клиническая поликлиника №1».

С помощью специально разработанной анкеты производился сбор информации о возрасте, поле, антропометрических показателях, значениях липидного спектра, данных анамнеза о наличии ФР, клинических проявлениях заболевания, а также сопутствующей лекарственной терапии.

Также с целью оценки ЛПИ всем пациентам было произведено измерение систолического артериального давления (САД) на плечевых артериях обеих верхних конечностей и задних большеберцовых артериях обеих нижних конечностей. Предварительно перед выполнением манипуляции исследуемый находился в положении лежа на спине в покое в течение 10 минут. САД измерялось одновременно на верхней и нижней конечностях справа, затем слева с помощью автоматических тонометров. На основании полученных результатов высчитывался ЛПИ, как отношение систолического давления на задней большеберцовой артерии данной конечности к систолическому давлению на плечевой артерии. Показатели ЛПИ в покое равные 0,9 и менее были интерпретированы как ненормальные, 0,91–0,99 — пограничные, 1,00–1,40 — нормальные, более 1,4 как недоступные для компрессии [6]. Статистический анализ осуществлен с использованием программы SPSS15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL).

Критерии включения: все пациенты.

Критерии исключения: нет.

### Результаты и обсуждение

В исследование вошли 100 пациентов (50 % женщины, 50 % мужчины), обратившихся за медицинской помощью в первичное амбулаторное звено, на прием к участковому-терапевту. Средний возраст — 60,41 лет. Средний возраст мужчин — 55,3 лет, женщин — 66,72 лет. Выявлено 12 человек (12 %) с отклонением ЛПИ от нормы. Общее количество пациентов с ЛПИ хотя бы на одной конечности, интерпретированным как ненормальный, равнялось 2 (2 %), пограничный — 7 (7 %), недоступный для компрессии 3 (3 %).

По данным отечественных публикаций, патологическое изменение ЛПИ равное 0,9 и менее варьировалось

от 2 до 10 % случаев [10,11]. Так, в работе Еремкиной с соавт. [11], патологические значения ЛПИ были получены у 3 % обследуемых, что не противоречит полученным нами результатам. Однако в другом научном источнике [10] этот показатель достигает 10,69 %, что может быть объяснено большей долей пациентов в нашем исследовании, находящихся на статинотерапии (32 %).

У каждого обследуемого с ЛПИ более 1,4 требуется дополнительное исследование, измерение пальце-плечевого индекса, а у пациентов с пограничным значением и имеющих 2 и более ФР — нагрузочного теста с последующим измерением индекса, с целью подтверждения или исключения диагноза ЗАНК.[6]

Анализ распространенности отдельных ФР ЗАНК показал, что преобладающими из них являлись артериальная гипертензия — 63 %, гиперхолестеринемия — 59 %, нарушение сна — 49 % и стресс — 46 %. К менее распространенным факторам относятся: менопауза — 42 %, недостаточная физическая активность — 33 %, ожирение — 27 %, неправильное питание — 25 %, сахарный диабет — 25 %, курение — 19 %, употребление алкоголя также в 19 % случаев, аутоиммунные заболевания встречались реже всего — лишь в 9 %. Полученные нами данные демонстрируют высокую степень соответствия с предварительными результатами многоцентрового наблюдательного исследования «ЭССЕ-РФ3», которые выявили следующую распространенность: гиперхолестеринемия — 58,8 %, артериальная гипертензия — 53,9 %, недостаточная физическая активность — 27,4 %, ожирение — 24,6 %, курение — 17 % [12]. Также стоит отметить, что, в соответствии с полученными нами результатами, липидоснижающая терапия была назначена у 32 % против 7,6 % в сравниваемом исследовании.

Выявленные нами пациенты со сниженным значением ЛПИ менее 0,9 были женщинами старше 60 лет, у которых отсутствовали классические клинические симптомы. У обеих обследуемых наблюдалась гиперхолестеринемия (уровень общего холестерина — 5,94 и 7,05 ммоль/л) и ни одна из них не находилась на статинотерапии. У первой пациентки были диагностированы артериальная гипертензия и сахарный диабет, вторая отмечала факт длительного курения — 20 пачка-лет, и наличие хронического стресса.

Согласно Эдинбургскому опроснику, у пациентов с показателем ЛПИ 0,9 и менее не отмечалось типичной клинической симптоматики и лишь 16,6 % (n=1) обследуемых с пограничным значением имели классическую клиническую картину ЗАНК. Отсутствие клиники у лиц с низким значением ЛПИ в нашем исследовании не противоречит данным современной литературы. Так, в исследовании Баркана В.С. и др. [13] лишь у 16,7 % пациентов с выявленным ЗАНК присутствовала классическая

клиническая симптоматика. Такие цифры подчеркивают необходимость проведения измерения ЛПИ в рамках амбулаторного приема с целью выявления бессимптомного течения заболевания.

Стоит отметить, что при описании боли характерной для ЗАНК, в 83,3 % (n=5) случаев у пациента не отмечалось снижения значения ЛПИ. Возможно предположить, что использование лишь анализа клинической картины без измерения ЛПИ может приводить к ложноположительным результатам и неверному суждению об этиологии данной жалобы. В национальных рекомендациях отмечено, что отсутствие ФР и данных клинической картины, указывающих на ЗАНК, определять ЛПИ не рекомендуется (уровень доказательности C) [6]. В нашем исследовании четкой корреляции специфических жалоб характерных для ЗАНК с ненормальными показателями ЛПИ выявить не удалось.

## Выводы

По результатам нашего исследования, сниженный уровень ЛПИ менее 0,9 хотя бы на одной конечности зарегистрирован у 2 пациентов (2 %), что сопоставимо с литературными данными. Типичной клинической картины у данных пациентов не наблюдалось. Лишь 16,6 % (n=1) обследуемых с пограничным значением имели классическую клиническую картину ЗАНК. Таким образом, достоверных показаний для инициации проведения измерения ЛПИ в рамках амбулаторного приема определить не удалось. Однако высокая распространенность ФР выявленная нами, высокая ассоциация ЗАНК с коронарным атеросклерозом и социальная значимость ЗАНК указывают на целесообразность внедрения метода измерения ЛПИ в кардиологические скрининги населения, а также во второй этап диспансеризации при выявлении высокого суммарного сердечно-сосудистого риска.

## ЛИТЕРАТУРА

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. // World Population Prospects 2022: Summary of Results. 2022; doi:10.18356/9789210014380
2. Criqui M.H., Matsushita K., Aboyans V et al. Lower Extremity Peripheral Artery Disease: Contemporary Epidemiology, Management Gaps, and Future Directions// Circulation. 2021 Jul 28;144(9): e171–e191. doi: 10.1161/CIR.0000000000001005
3. Mazzolai L., Teixido-Tura G., Lanzi S. et al. 2024 ESC Guidelines for the management of peripheral arterial and aortic diseases. // European Heart Journal, Volume 45, Issue 36, 21 September 2024, Pages 3538–3700, doi.org/10.1093/eurheartj/ehae179
4. Ассоциация сердечно-сосудистых хирургов России. Клинические рекомендации «Заболевания артерий нижних конечностей». 2016 г. — 96 стр.
5. Laclaustra M., Casasnovas J.A. et al. Femoral and Carotid Subclinical Atherosclerosis Association With Risk Factors and Coronary Calcium: The AWHs Study// J Am Coll Cardiol. 2016 Mar 22;67(11):1263–74. doi: 10.1016/j.jacc.2015.12.056.
6. Ассоциация сердечно-сосудистых хирургов России, Российское общество ангиологов и сосудистых хирургов, Российское общество хирургов, Российское кардиологическое общество, Российская ассоциация эндокринологов. Национальные рекомендации по диагностике и лечению заболеваний артерий нижних конечностей. Москва, 2019.
7. Ж.Д. Кобалава «Тактика врача-кардиолога: практическое руководство». Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2022. 320 с.: ил. (Серия «Тактика врача»). 001: doi.org/10.33029/9704-5815-0-KAR-2021-320
8. A.T. Hirsch, M.H. Criqui, et al. Peripheral arterial disease detection, awareness, and treatment in primary care // JAMA. 2001;286(11):1317–1324. doi:10.1001/jama.286.11.1317
9. R. Yap Kannan, N. Dattani, R.D. Sayers, M.J. Bown. Survey of ankle–brachial pressure index use and its perceived barriers by general practitioners in the UK// Postgraduate Medical Journal, Volume 92, Issue 1088, June 2016, Pages 322–327, doi: 10.1136/postgradmedj-2015-133375.
10. М.В. Авдеева. Комплексная оценка факторов кардиоваскулярного риска с использованием ресурса центров здоровья. // Кардиоваскулярная терапия и профилактика, 2012; 11(3): 47–52
11. Еремкина А.В., Борсуков А.В. и др. Возможности использования аппарата для многоканальной объемной сфигмографии в кардиоваскулярном скрининге сельского населения. // Российский кардиологический журнал. 2020;25, дополнительный выпуск (октябрь)
12. Российское общество профилактики неинфекционных заболеваний Российское кардиологическое общество Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины. Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний и их факторов риска в регионах Российской Федерации. Третье обследование. // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2023;22(8S):3788. doi:10.15829/1728-8800-2023-3788
13. Баркан В.С., Зубко О.А., Петрова К.О. и др. Лодыжечно-плечевой индекс в диагностике стенозирующих поражений артерий нижних конечностей при остром коронарном синдроме. Российский кардиологический журнал. 2019;24, дополнительный выпуск (апрель) — 52 стр.

© Лихачев Александр Сергеевич (lichachevas@yandex.ru); Борисова Ксения Владимировна (ksyou.b@mail.ru);  
Юрьева Светлана Владимировна (silviya5@yandex.ru); Юрьева Анастасия Ильинична (nastyaurieva02022006@gmail.com);  
Хлопина Инна Анатольевна (hlopina@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРОФИЛАКТИКИ РЕЦИДИВОВ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНЫХ КРОВОТЕЧЕНИЙ ПРИ СИНДРОМЕ ДЬЕЛАФУА

## OPTIMIZATION OF METHODS FOR PREDICTING AND PREVENTING RECURRENCE OF GASTROINTESTINAL BLEEDING IN DIEULAFOY SYNDROME

**E. Orevkov  
D. Amarantov  
A. Strinkevich  
A. Barinova  
P. Denisova  
N. Fedachuk**

*Summary.* Introduction. To date, there is no single effective method for preventing recurrent bleeding in Dieulafoy syndrome.

*Aim.* To develop tactics for predicting and preventing recurrent bleeding in Dieulafoy syndrome by creating a unified treatment algorithm for patients with the above pathology.

*Materials and methods.* Among 82 (100 %) patients with Dieulafoy's syndrome, 37 (45.12 %) patients were identified who had their own author's method for predicting and preventing recurrent bleeding (group I) and 45 (54.88 %) patients who were treated using standard methods (group II).

*Results.* An original method of endoscopic hemostasis in Dieulafoy syndrome has been developed. An algorithm for predicting and preventing recurrence of bleeding in Dieulafoy syndrome has been developed. *Conclusion.* It was possible to achieve a reduction in the number of bleeding recurrences from 48.88 % to 24.32 %.

*Keywords:* esophagogastroduodenoscopy, gastrointestinal bleeding, Dieulafoy's syndrome.

**Оревков Евгений Борисович**

Аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
Orevkov.fanat@yandex.ru

**Амарантов Дмитрий Георгиевич**

Доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
svetlam1@yandex.ru

**Стринкевич Александр Владимирович**

Аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
strinkevi4@gmail.com

**Баринова Ангелина Сергеевна**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
angelinasistema2015@gmail.com

**Денисова Полина Сергеевна**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
dpspolly09@mail.ru

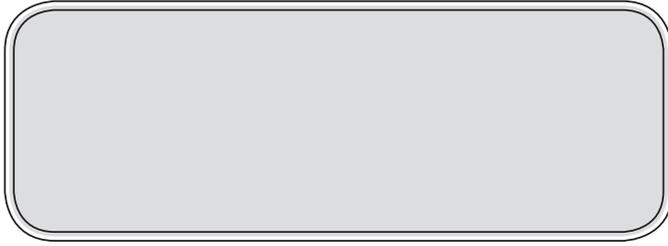
**Федачук Наталья Анатольевна**

Кандидат медицинских наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»  
fna79@mail.ru

*Аннотация.* Введение. На сегодняшний день нет единой эффективной методики профилактики рецидивов кровотечений при синдроме Дьелафуа.

*Цель исследования.* Разработать тактику прогнозирования и профилактики рецидивов кровотечений при синдроме Дьелафуа путем создания единого алгоритма лечения.

*Материалы и методы.* Среди 82 (100 %) пациентов с синдромом Дьелафуа выделено 37 (45,12 %) больных, у которых была применена собственная авторская методика прогнозирования и профилактики рецидивов кровотечений (I группа) и 45 (54,88 %) больных, которым было проведено лечение стандартными методиками (II группа).



## Введение

**С**индром Дъелафуа — редкая патология, характеризующаяся массивными кровотечениями желудочно-кишечного тракта, а также возникновением рецидивов этих кровотечений. [1, 2]

Данная патология встречается достаточно редко в числе всех причин желудочно-кишечных кровотечений [1, 2, 3, 4].

В виду выраженных профузных кровотечений, сложностей визуализации источника кровотечения при синдроме Дъелафуа имеют место трудности в диагностике источника кровотечения, купирования кровотечения и профилактики рецидивов этих кровотечений [3, 4].

Рецидивы кровотечений при синдроме Дъелафуа являются одной из ключевых причин летальности пациентов с данной патологией [5]. Сегодня нет единого эффективного алгоритма для прогнозирования и профилактики рецидивов кровотечения при синдроме Дъелафуа [1, 5, 6].

## Цель исследования

Разработать тактику прогнозирования и профилактики рецидивов кровотечений при синдроме Дъелафуа путем создания единого алгоритма лечения с пациентов с вышеуказанной патологией.

## Материалы и методы

С 2012 по 2024 в отделении экстренной хирургии БУЗ ПК ГКБ им. М.А. Тверье находилось на лечении 82 (100 %) пациента с синдромом Дъелафуа, среди которых было выделено две группы: I группа из 37 (45,12 %) пациентов, в лечении которых использовалась собственная методика прогнозирования и профилактики рецидивов кровотечения и II группа из 45 (54,88 %) больных, в лечении которых были использованы стандартные методики.

Среди обеих групп пациентов с синдромом Дъелафуа преобладали мужчины — 22 (59,45 %) человека в первой группе и 27 (60 %) мужчин во второй группе ( $p > 0,05$ ). При этом преобладала возрастная категория 40–49 лет

Результаты. Разработан оригинальный способ эндоскопического гемостаза при синдроме Дъелафуа. Создан алгоритм прогнозирования и профилактики рецидивов кровотечений при синдроме Дъелафуа.

Заключение. Удалось добиться снижения количества рецидивов кровотечений с 48,88 % до 24,32 %.

*Ключевые слова:* эзофагогастродуоденоскопия, желудочно-кишечные кровотечения, синдром Дъелафуа.

в обеих группах: в I группе — 8 (21,62 %) пациентов ( $p = 0,034$ ), во II группе — 10 (22,22 %) пациентов ( $p = 0,039$ ). Было выполнено сравнение обеих групп по следующим критериям: данные анамнеза, особенности объективного осмотра, данные лабораторной и инструментальной диагностики. Сравнение групп между собой проводили при помощи критериев  $\chi^2$  и  $z$ . Критический уровень значимости принимали равным  $p < 0,05$ . Сопоставимость групп удостоверяет отсутствие статистически значимых различий по всем перечисленным критериям ( $p > 0,05$ ).

## Результаты

Для определения факторов риска возникновения рецидивов желудочно-кишечных кровотечений при синдроме Дъелафуа был проведен ретроспективный анализ 45 (100 %) историй болезни пациентов II группы по ряду клинических, лабораторных и инструментальных показателей. Оценивали взаимосвязь наличия показателя с наличием рецидива кровотечения. При этом рецидив кровотечения имел место у 22 (48,88 %) пациентов. В исследуемой группе было 27 (60 %) мужчин и 18 (40 %) женщин. Рецидивы кровотечений наблюдались у 12 мужчин и 10 женщин. Взаимосвязи между полом пациента и рецидивом кровотечения не выявлено ( $p = 0,466$ ).

Среди больных с рецидивами и без рецидивов кровотечений мы выделили несколько возрастных подгрупп (таблица 1).

При анализе данных была обнаружена статистически достоверная взаимосвязь возраста 40–49 лет с рецидивом геморрагии при синдроме Дъелафуа ( $p = 0,039$ ).

Среди клинических проявлений кровотечения только рвота «кофейной гущей» была у 3 (6,66 %) пациентов. Рецидивов кровотечений у этих больных не было ( $p = 0,355$ ). Только рвота неизменной кровью была у 8 (17,77 %) пациентов, из которых у 7 (15,55 %) человек возник рецидив кровотечения ( $p = 0,016$ ). Только мелену обнаружили у 14 (31,11 %) пациентов, при этом у 6 (13,33 %) из них наблюдали рецидив кровотечения ( $p = 0,587$ ).

Рвота неизменной кровью в сочетании с меленой были выявлены у 11 (24,44 %) пациентов II группы,

при этом у 4 (8,88 %) из них был рецидив кровотечения ( $p=0,340$ ). У 9 (20 %) пациентов было сочетание рвоты «кофейной гущей» с меленой, рецидивное кровотечение произошло у 5 (11,11 %) из них ( $p=0,655$ ).

Таблица 1.

Возрастные особенности исследуемой группы пациентов с синдромом Дъелафуа

Параметр	Больные с рецидивом кровотечения (n=22)	Больные без рецидива кровотечения (n=23)	p
Возраст 19–29 лет	1 (2,22 %)	0 (0 %)	0,302
Возраст 30–39 лет	1 (2,22 %)	4 (8,88 %)	0,171
Возраст 40–49 лет	2 (4,44 %)	8 (17,77 %)	0,039
Возраст 50–59 лет	5 (11,11 %)	1 (2,22 %)	0,07
Возраст 60–69 лет	5 (11,11 %)	6 (13,33 %)	0,794
Возраст 70–79 лет	5 (11,11 %)	2 (4,44 %)	0,195
Возраст 80–89 лет	2 (4,44 %)	1 (2,22 %)	0,524
Возраст 90–99 лет	1 (2,22 %)	1 (2,22 %)	0,975

Анализ представленных данных показывает, что рвота неизменной кровью является прогностически значимым признаком возникновения рецидива кровотечения ( $p=0,016$ ).

Следующим этапом мы проанализировали анамнестические данные, которые ряд авторов ставит в зависимость от возникновения рецидива кровотечений [1, 2, 3]. У 29 (64,44 %) из 45 (100 %) пациентов были хронические заболевания сердечно-сосудистой системы. Из 28 (62,22 %) обследуемых с гипертонической болезнью (ГБ), 19 (42,22 %) пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) и 8 (17,77 %) больных с сахарным диабетом (СД) рецидивы кровотечения наблюдали у 14 (31,11 %), 11 (24,44%) и 3 (6,66 %) пациентов соответственно. Достоверной связи между наличием ГБ, ИБС, СД и рецидивами кровотечений не обнаружено ( $p=0,849$ ,  $p=0,302$  и  $p=0,729$  соответственно).

Не найдено статистически значимой взаимосвязи между приемом нестероидных противовоспалительных средств и антикоагулянтов у 16 человек и наличием у них 9 (20 %) рецидивов кровотечений ( $p>0,05$ ).

Степень тяжести анемии так же не являлась достоверным прогностическим критерием рецидива кровотечения ( $p>0,05$ ). Анемию легкой степени (гемоглобин 90–120 г/л) имели 10 (22,22 %) пациентов, средней степени тяжести (гемоглобин 70–90 г/л) — 18 (40 %) человек, тяжелой степени (гемоглобин <70 г/л) — 17 (37,78 %) пациентов. Рецидивы наблюдали у 4 (16,27%), 10 (23,25 %) и 8

(11,11 %) пациентов соответственно ( $p=0,524$ ,  $p=0,466$  и  $p=0,849$  соответственно).

Тромбоцитопения у 17 (37,77 %) пациентов II группы так же не стала достоверной причиной 9 (20 %) рецидивов кровотечений ( $p=0,672$ ).

На фиброзофагогастродуоденоскопии (ФЭГДС) источники кровотечения в кардиальном отделе были обнаружены в 4 (8,88 %) случаях, в верхней трети тела желудка — в 23 (46,66 %) случаях, в области дна желудка — в 3 (6,66 %) случаях в области привратника — в 2 (4,44 %) случаях. У 13 (28,88 %) пациентов были обнаружены источники кровотечения как в кардиальном отделе, так и в теле желудка. Установлено, что статистически значимой зависимости между какой-либо локализацией синдрома Дъелафуа и возникновением рецидива кровотечения у исследуемых пациентов не было ( $p>0,05$ ).

Анализируя эндоскопическую картину у обследуемых пациентов с синдромом Дъелафуа была использована принятая классификация по N.M. Ду с соавторами (1995 г.), которая выделяет 3 типа эндоскопических картин: I тип — активное артериальное кровотечение из дефекта сосуда, слизистая оболочка вокруг которого без признаков воспаления и приподнимается в виде полипа; II тип — тромбированный сосуд без активного кровотечения; III тип — плотный фиксированный сгусток с неизменной слизистой вокруг. Всего было 25 пациентов с I типом (55,56 %), 13 (8,89 %) — с II типом и 7 (15,56 %) — с III типом эндоскопической картины. У них наблюдали 11 (24,44 %), 7 (15,55 %) и 5 (11,11 %) рецидивов кровотечений соответственно. Достоверной зависимости между типом эндоскопической картины и рецидивом кровотечения обнаружено не было (0,287, 0,816, 0,242 соответственно).

Таким образом, достоверным прогностическим признаком рецидивов кровотечений при синдроме Дъелафуа является возраст пациентов 40–49 лет и наличие в анамнезе рвоты неизменной кровью.

Мы исследовали срок возникновения рецидивов кровотечений. У большинства — 15 (33,33 %) пациентов, рецидив кровотечения возник в течение первых суток (0–24 часа) с момента первой ФЭГДС и эндоскопического гемостаза. У 1 (2,22 %) пациента рецидив кровотечения произошел в течение вторых суток (24–48 часов). В течение 3-х суток (48–72 часа) рецидив кровотечения произошел у 2 пациентов (4,44 %). У 3 (6,66 %) пациентов рецидив кровотечения произошел на 5 сутки (96–120 часов). Так же у 1 (2,22 %) пациента с синдромом Дъелафуа рецидив кровотечения произошел на 6 сутки (120–144 часа).

Следует отметить, что у 6 (13,33 %) пациентов II группы случились повторные рецидивы кровотечений —

у 2 (4,44%) пациентов на 1 сутки, у 2 (4,44 %) — на 5 суток, у 1 (2,22 %) пациента — на 7 суток и у 1 (2,22 %) на 10 суток после первого рецидива.

Учитывая большое количество рецидивов кровотечений, был создан способ эффективной остановки и профилактики рецидивов кровотечения у пациентов с синдромом Дъелафуа (патент на изобретение 2798000 С1, 13.06.2023. Заявка №2021117065 от 10.06.2021).

Способ осуществляется следующим образом: во время ЭГДС производят орошение кровоточащего сосуда

70 % этиловым спиртом, объемом 20 мл, что вызывает снижение темпа или даже остановку кровотечения. После этого выполняют аргоноплазменную коагуляцию непосредственно дефекта слизистой с расстояния 5 мм от кровоточащего дефекта 5 импульсами по 2 секунды. Также возможно клипирование источника кровотечения. На заключительном этапе производят аргоноплазменную коагуляцию неизменной слизистой на площадке диаметром 15 мм вокруг кровоточащего дефекта, что приводит к облитерации полости аневризмы, которая является причиной кровотечения при синдроме Дъелафуа.



Рис. 1. Алгоритм прогнозирования и профилактики рецидивов кровотечений при синдроме Дъелафуа

Руководствуясь данными проведенных исследований, был создан алгоритм прогнозирования и профилактики рецидивов кровотечений при синдроме Дъелафуа (см. рисунок).

Алгоритм состоит из ряда последовательных шагов. Во-первых, при поступлении больного с синдромом Дъелафуа во время ФЭГДС выполнялся эндоскопический гемостаз по собственной методике.

Дальнейшая схема лечения и наблюдения проводится в зависимости от наличия или отсутствия у пациента достоверных факторов риска возникновения рецидивов кровотечения: возраста пациентов 40–49 лет и/или рвоты неизменной кровью.

Через 18–20 часов (менее 24 часов с момента первичного гемостаза), пациентам с вышеуказанными факторами риска выполнялось контрольное ФЭГДС с целью предупреждения рецидивов кровотечения, так как наиболее частый срок их возникновения, по данным исследования, первые сутки с момента первичного эндоскопического гемостаза. При визуализации рецидива кровотечения производился повторный эндоскопический гемостаз по авторской методике. При выявлении признаков неустойчивого гемостаза выполняли превентивную обработку кровоточащего сосуда и площадки над аневризмой с помощью аргонноплазменной коагуляции. При отсутствии признаков рецидива кровотечения ограничивались диагностическим осмотром.

Пациентам, не имевшим факторов риска, выполняли контрольный ФЭГДС осмотр через 3 суток (72 часа) от момента первичного гемостаза. Следующее контрольное исследование, у всех пациентов проводилось перед выпиской, обычно на 6–9 сутки.

Если в процессе лечения возникали признаки рецидива кровотечения, выполняли повторную ФЭГДС «по требованию» и проводили повторный эндоскопический гемостаз по описанной методике.

В случае возникновения повторного рецидива кровотечения в течение госпитализации проводилось оперативное лечение — гастротомия с прошиванием кровоточащего сосуда или резекцией желудка.

В результате применения разработанного алгоритма прогнозирования и профилактики рецидивов кровотечений при синдроме Дъелафуа нами были получены следующие результаты. Средний срок госпитализации

снижился с  $13,32 \pm 3,4$  койко-дней у пациентов II группы до  $9,02 \pm 2,1$  койко-дней у пациентов I группы ( $p < 0,05$ ).

Из 37 (100 %) больных I группы рецидивы кровотечений наблюдались у 9 (24,32 %) пациентов, тогда как среди 45 (100 %) больных II группы рецидивы кровотечений имели место у 22 (48,88 %) пациентов. Таким образом получено значимое снижение количество рецидивов кровотечений среди пациентов I группы ( $p < 0,05$ ). Снижилось так же и количество повторных рецидивов кровотечений, которое в I группе было у 6 (13,33 %) пациентов, а во II группе — у 3 (8,1 %) пациентов.

### Обсуждение

Выявление групп риска формирования осложнений давно доказало свою высокую эффективность в различных отраслях хирургии [7]. Определение склонности к рецидивам кровотечений после выполнения первичного эндоскопического гемостаза у пациентов с синдромом Дъелафуа позволяет предотвратить формирование рецидива и провести повторный эндоскопический гемостаз в максимально комфортных условиях. Кровотечение при синдроме Дъелафуа носит интенсивный и склонный к рецидивированию характер, во многом из-за наличия аневризматического расширения сосудов подслизистого слоя стенки органов пищеварительного тракта [2, 3]. Поэтому разработанная методика эндоскопического гемостаза, направленная на облитерацию аневризмы подслизистого слоя, эффективность которой доказал опыт ее клинического применения, может быть рекомендована для внедрения в практику лечения синдрома Дъелафуа.

### Выводы

1. При верификации синдрома Дъелафуа следует дополнить эндоскопическую остановку кровотечения обработкой аргонноплазменной коагуляцией площадки вокруг источника кровотечения диаметром 1,5 см с целью облитерации артериальной аневризмы подслизистого слоя.
2. Факторами риска рецидива кровотечения при синдроме Дъелафуа являются возраст 40–49 лет и наличие рвоты неизменной кровью в анамнезе.
3. Использование алгоритма прогнозирования и профилактики рецидивов кровотечений при синдроме Дъелафуа позволяет сократить срок стационарного лечения на 32% и снизить количество рецидивов кровотечений у больных синдромом Дъелафуа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Земляной В.П., Сигуа Б.В., Гуржий Д.В., Мелендин И.А., Берест Д.Г., Винничук С.А. Хирургическая тактика при синдроме Дъелафуа редкой локализации. Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь». 2018;7(1):65–67. doi: 10.23934/2223–9022-2018-7-1-65–67
2. Amarnath S., Ghimire S., Khan H.M. A Tale of Three Dieulafoy Lesions: A Case Report and Review of the Literature. Cureus. 2020 May 12(5): e8365. doi: 10.7759/cureus.8365
3. Chakinala R.C., Solanki S., Haq K.F., Singh J., Shah H., Solanki D., Kichloo A., Haq K.S., Burney A.H., Waqar S., Vyas M., Chugh S., Nabor C. Dieulafoy's Lesion: Decade-Long Trends in Hospitalizations, Demographic Disparity, and Outcomes // Cureus. 2020. № 12(7). P. 9170. doi: 10.7759/cureus.9170.
4. Барышников С.Н., Копылова Ю.Ю., Чистикин А.Н. Орфанная патология желудка (болезнь Дъелафуа) с летальным исходом // Морфология. — 2020. — Т. 157. — №2–3. — С. 29–29. doi: 10.17816/morph.102132
5. Han M.S., Park B.K., Lee S.H., Yang H.C., Hong Y.K., Choi Y.J. A case of Dieulafoy lesion of the jejunum presented with massive hemorrhage. Korean J Gastroenterol. 2013 May;61(5):279–81. Korean. doi: 10.4166/kjg.2013.61.5.279. PMID: 23756670.
6. Гуров Д.В. Возможности малоинвазивных технологий в комплексном лечении больных с рецидивирующими кровотечениями из язвы Дъелафуа // Известия Российской Военно-медицинской академии. — 2020. — Т. 39. — №1-15. — С. 195–198. doi: 10.17816/rmmar43423
7. Нагаев А.С., Баландина И.А., Амарантов Д.Г. Торакоскопическая санация плевральной полости в лечении больных с острой тотальной эмпиемой плевры // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. — 2008. — № 5. — С. 51–54.

© Оревкин Евгений Борисович (Orevkov.fanat@yandex.ru); Амарантов Дмитрий Георгиевич (svetlam1@yandex.ru);  
Стринкевич Александр Владимирович (strinkevi4@gmail.com); Баринаева Ангелина Сергеевна (angelinasistema2015@gmail.com);  
Денисова Полина Сергеевна (dpspolly09@mail.ru); Федачук Наталья Анатольевна (fna79@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ И ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТКИ С ПОДОСТРЫМ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНЫМ СИНУСИТОМ ГРИБКОВОЙ ЭТИОЛОГИИ

## CLINICAL OBSERVATION AND SURGICAL TREATMENT OF A PATIENT WITH SUBACUTE MAXILLARY SINUSITIS OF FUNGAL ETIOLOGY

**T. Pelishenko  
T. Lazarchik  
A. Mityushin**

*Summary.* The article presents a clinical case of subacute sinusitis that developed in a patient a long period after complex dental treatment, which is not amenable to conservative treatment and required differential diagnosis. The clinical picture starting from the debut of the disease is shown; the stages of complex dental treatment and instrumental methods of investigation are presented, based on which the final diagnosis is made. The results of pathohistological examination are presented.

*Keywords:* sinusitis, odontogenic maxillary sinusitis, dental implantation, filling material, fungal sinusitis, dental implants.

**Пелишенко Татьяна Георгиевна**

врач-оториноларинголог, кандидат медицинских наук,  
заведующий отделением оториноларингологии  
ФГБУ «Клиническая больница №1» УДП РФ  
doctor217@mail.ru

**Лазарчик Татьяна Анатольевна**

врач-оториноларинголог, кандидат медицинских наук,  
ФГБУ «КБ №1» Волынская УДП РФ  
zvereva\_tanya@list.ru

**Митюшин Артём Анатольевич**

хирург, имплантолог, аспирант, Московский областной  
научно-исследовательский клинический институт  
mitushin12345@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлен клинический случай подострого синусита, развившего у пациентки через длительный период после проведенного комплексного стоматологического лечения, не поддающийся консервативному лечению, потребовавший проведения дифференциальной диагностики. Отображена клиническая картина, начиная с дебюта заболевания; представлены этапы проведенного комплексного стоматологического лечения и инструментальных методов исследования, на основании которых поставлен заключительный диагноз. Представлены результаты патогистологического исследования.

*Ключевые слова:* синусит, одонтогенный верхнечелюстной синусит, дентальная имплантация, пломбировочный материал, грибковый синусит, зубные импланты.

На сегодняшний день отмечается тенденция к увеличению заболеваемости синуситом в мире в течение последнего десятилетия [1, 2]. Из общего числа синуситов различной этиологии частота синуситов одонтогенной природы составляет 26–40 % [3]. Безусловно, ввиду анатомической структуры, топографического расположения и сравнительно большого объема, инородные тела в верхнечелюстной пазухе встречаются чаще, чем в других околоносовых пазухах [4, 5, 6]. Инородные тела верхнечелюстной пазухи встречаются достаточно часто, особенно у лиц среднего возраста, что связано с особенностями пломбировочных материалов в терапевтической стоматологии в постсоветское время [7, 2, 6]. На заре стоматологии зубные пломбы делались из свинца и зубы «запечатывались» [1]. Несоблюдение основных требований технологии работы в корневых каналах, недостаточная оснащенность многих клиник необходимым оборудованием и инструментами увеличивает количество осложнений: при образовании дефекта в области корня зуба возникает большая вероятность попадания пломбировочного материала

в верхнечелюстную пазуху [4, 9, 5]. Инородные тела способствуют возникновению и поддерживают воспаление слизистой оболочки околоносовых пазух. В свою очередь, компоненты, входящие в состав пломб, образуют благоприятную питательную среду для роста грибковой флоры. В таких случаях в околоносовых пазухах развивается грибковый синусит. Кроме того, к факторам, провоцирующим развитие грибкового синусита, можно отнести длительный приём антибиотиков и иммунодепрессантов, а также иммуносупрессивные состояния такие, как сахарный диабет, ВИЧ, первичный иммунодефицит, трансплантация органов, лучевая терапия, гемодиализ [3,10]. Инородное тело в верхнечелюстной пазухе может быть бессимптомным от 13,5 % до 16,9 %, и выявляется, как «случайная находка», при рентгенологическом или КТ исследовании [8]. Например, при подготовке пациента к офтальмологической операции.

### Материал и методы исследования

Пациентка М., 47 лет, обратилась с целью консультации в ФГБУ «КБ №1» УДП РФ.



Рис. 1. Компьютерная томография околоносовых пазух (инородное тело верхнечелюстной пазухи)  
 Источник: Составлено автором на основании КТ околоносовых пазух

При осмотре предъявила жалобы: на заложенность носа, больше справа, слизисто-гнойное отделяемое из правой половины носа, ощущение давления в области правой щеки.

Из анамнеза было известно, что в январе 2021 года после консультации и составления плана лечения с применением имплантантов, пациентке было проведено комплексное стоматологическое лечение: ревизия каналов 44, 47 зубов, гигиена полости рта, направлена к хирургу-имплантологу. После чего пациентке было проведено: удаление 17, 14, 13, 12, 37, 36, 35, 45 зубов, синус лифтинг в области верхней челюсти справа. Перед имплантацией проводилась рентгенография околоносовых пазух — патологии пазух не выявлено.



Рис. 4. Рентгенограмма после имплантологического лечения



Рис. 2. Изображение зубов верхней и нижней челюсти до лечения



Рис. 5. Этап немедленной нагрузки

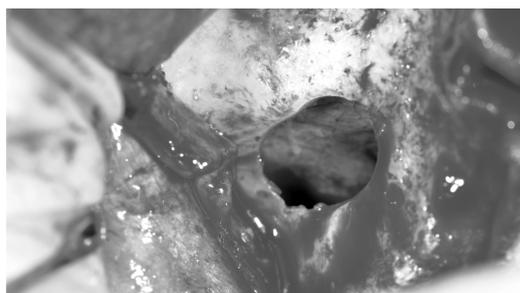


Рис. 3. Ревизия пазухи, синус-лифтинг



Рис. 6. Итоговый вид окончательного стоматологического ортопедического лечения

В декабре 2023 г. у данной пациентки впервые появились гнойные выделения из правой половины носа, заложенность носа, ощущение давления в области правой щеки. Консультирована ЛОР-врачом, выполнена рентгенография околоносовых пазух, на Рг-снимке выявлено тотальное затемнение правой верхнечелюстной пазухи. Пациентке выполнена пункция правой верхнечелюстной пазухи, при промывании получено обильное жидкое гнойное отделяемое с ихорозным запахом. Назначена секретолитическая терапия, антибактериальная терапия — Цефтриаксон 1,0 в/м 2 р/д 7 дней. После 4-й пункции правой верхнечелюстной пазухи, в связи с неэффективностью консервативной терапии, пациентке проведена коррекция антибактериальной терапии: к терапии добавлен Метрогил 200 мг 3 р/д. На протяжении 2-х месяцев пациентке проведено около 20 пункций правой верхнечелюстной пазухи, при последней пункции получено жидкое гнойное отделяемое. Проведена коррекция антибактериальной терапии на Клиндамицин 300 мг 3 р/д, Дексаметазон 8 мг в/м 4 дня с постепенным снижением дозы.

Через 2 месяца после начатого лечения пациентке назначена компьютерная томография околоносовых пазух. На компьютерной томографии околоносовых пазух выявлено тотальное затемнение правой верхнечелюстной пазухи, конхобуллёз средней носовой раковины слева.

Объективно: при передней риноскопии преддверие носа свободное, перегородка носа — незначительно искривлена, в правой половине носа слизистая оболочка гиперемирована, отёчна, в носовых ходах слизистое отделяемое, нижние носовые раковины увеличены с двух сторон.

Пациентке рекомендована эндоскопическая операция на правой верхнечелюстной пазухе с формированием антростомы в области среднего носового хода с целью ревизии и санации пазухи в срочном порядке. В ходе оперативного пособия обнаружено большое количество грибковых масс, заполняющих весь просвет правой верхнечелюстной пазухи. Грибковые массы удалены, пазуха промыта 3 % раствором перекиси водорода, раствором Октенисепта в разведении 1:6. Удалённый макропрепарат отправлен на патогистологическое исследование. Кровотечение незначительное. Ранний послеоперационный период протекал без осложнений. Пациентка выписана на 3-и сутки после проведённого хирургического лечения.

### Результаты и анализ исследований

Гистологическое исследование операционного материала показало.

*Макроскопическое описание:*

6 фрагментов серовато-бурой ткани общими размерами 1,9x1,4x0,4см. 1бл (6).

*Микроскопическое описание:*

Фрагменты слизистой оболочки, высланной многоядным мерцательным эпителием, с отёком и диффузной лимфоплазмоцитарной инфильтрацией в строме с примесью эозинофильных гранулоцитов. Отдельно — детрит с тенями колоний бактерий, спор и псевдомицелия грибов, лизированными эритроцитами и клетками воспаления (преимущественно нейтрофильные лейкоциты).



Рис. 7. Компьютерная томография околоносовых пазух пациентки перед операцией

**Заключение:**

Мицетома верхнечелюстной пазухи.

**Заключение**

Особенностью приведённого случая является сравнительно редкое наблюдение грибковых масс в верхнечелюстной пазухе при отсутствии инородного тела (пломбировочного материала). Клиническая значимость данного наблюдения состоит в том, что грибковые массы на рентгенограмме и компьютерной томограмме не отличались от другого гиподенсивного содержимого, например, кисты или полипа околоносовой пазухи. Таким образом, грибковый процесс верхнечелюстной пазухи одонтогенной этиологии протекал под «маской» острого гнойного синусита, не поддающегося антибактериальной терапии. Возможно, применение антибактериальной терапии на протяжении длительного времени также способствовало резистентности процесса и росту

грибковой флоры. Эндоскопическая ревизия правой верхнечелюстной пазухи с формированием антростомы в среднем носовом ходе позволила верифицировать диагноз, санировать пазуху, предупредить возможные осложнения правостороннего синусита. Кроме того, в данном случае эндоскопическая операция является наиболее щадящим способом хирургической ревизии пазухи, а формирование антростомы в среднем носовом ходе, учитывая ранее проведенное комплексное стоматологическое лечение, позволило не только санировать верхнечелюстную пазуху, но и осуществлять динамическое наблюдение в послеоперационном периоде за отделяемым и состоянием слизистой оболочки верхнечелюстной пазухи. Данный способ хирургической санации пазухи является наиболее подходящим при затяжном гнойном верхнечелюстном синусите, при наличии в пазухе остеопластического материала, после проведенного синус-лифтинга.

## ЛИТЕРАТУРА

- Сапова К.И., Рязанцев С.В., Чернушевич И.И., Науменко А.Н. Подходы к лечению одонтогенного риносинусита. Медицинский Совет. 2018;(20):43–45. doi:10.21518/2079-701X-2018-20-43-45.
- Хамитова Ф.А., Рахимов З.К., Пулатова Ш.К., Камбарова Ш.А., Сафарова М.С. Усовершенствование эндоскопических методов лечения хронических одонтогенных перфоративных верхнечелюстных синуситов. Новый день в медицине. 2019; 2 (26):316–318. <https://elibrary.ru/xxablp>.
- Lim S.-H., Kim J., Kim Y., Cho M., Jung J., Ha R., Jung J., Kim S., Kim K. Aux-MVNet: auxiliary classifier-based multiview convolutional neural network for maxillary sinusitis diagnosis on paranasal sinuses view. Diagnostics. 2022; 3: 736. doi: 10.3390/diagnostics12030736.
- Борисенко А.В., Неспрядько В.П. Композиционные пломбировочные и облицовочные материалы в стоматологии. — Москва: Книга плюс. 2002. 224с.
- Титов В.Р., Кабанова А.А., Криштопова М.А. Одонтогенный верхнечелюстной синусит: обзор актуальных вопросов диагностики и лечения. Современная стоматология. 2022; 1:24–26. <https://cyberleninka.ru/article/n/odontogenny-verhnechelyustnoy-sinusit-obzor-aktualnyh-voprosov-diagnostiki-i-lecheniya>.
- Яременко А.И., Матина В.Н., Сулов Д.Н., Лысенко А.В. Хронический одонтогенный верхнечелюстной синусит: современное состояние проблемы (обзор литературы). Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015; 10: 834–837. <https://applied-research.ru/ru/article/view>.
- Берест И.Е. Клинический случай ятрогенного инородного тела верхнечелюстной пазухи. Трудный пациент. 2018; 3:47–48. <https://cyberleninka.ru/article/n/klinicheskiy-sluchay-yatrogenogo-inorodnogo-tela-verhnechelyustnoy-pazuhi>.
- Банников С.А. Совершенствование диагностики неинвазивных микозов околоносовых пазух: автореф. дис. канд. мед наук: 14.01.03. — СПб., 2019. 124с.
- Максюков С.Ю., Бойко Н.В., Щепляков Д.С., Крайнюкова Л.А., Демидова А.А., Максуюкова Е.С. Диагностическая значимость компьютерной томографии для выявления одонтогенного верхнечелюстного синусита и эффективности предимплантологической аугментации гребня альвеолярной кости. Главный врач Юга России. 2016;(52):8–11. <https://cyberleninka.ru/article/n/diagnosticheskaya-znachimost-kompyuternoy-tomografii-dlya-vyyavleniya-odontogennogo-verhnechelyustnogo-sinusita-i-effektivnosti>.
- Vargas I., Saez F., Pedemonte C., Perez H., Canales M. The imaging appearance of sinus mycetoma: A case series. Int. J. Odontostomat. 2016; 10(1):17–22. doi:10.4067/S0718-381X2016000100004.

© Пелишенко Татьяна Георгиевна (doctor217mail.ru); Лазарчик Татьяна Анатольевна (zvereva\_tanya@list.ru);

Митюшин Артём Анатольевич (mitushin12345@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# НЕЙРОМЫШЕЧНАЯ СТОМАТОЛОГИЯ: ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЯ И КИНЕЗИОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ ДИСФУНКЦИЙ ЖЕВАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

## NEUROMUSCULAR DENTISTRY: ELECTROMYOGRAPHY AND KINESIOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF MASTICATORY SYSTEM DYSFUNCTIONS

*E. Roshchin*

*Summary.* Dysfunctions of the masticatory apparatus are a common problem in dental practice. Despite significant progress in understanding the etiopathogenesis of these disorders, many aspects of their diagnosis and treatment remain subjects of discussion. The aim of the study is to develop and clinically test a neuromuscular approach to the diagnosis and treatment of temporomandibular joint (TMJ) dysfunctions, based on the comprehensive use of electromyography (EMG) and kinesiography. *Methods:* The study involved 120 patients with various forms of TMJ dysfunctions (myogenic, arthrogenic, mixed). All patients underwent a clinical examination with an evaluation of dysfunction indices (Helkimo, Fonseca), surface EMG of masticatory muscles with functional tests, and computerized kinesiography of mandibular movements. Based on the clinical and instrumental data, individual treatment plans were developed, including the fabrication of myorelaxation splints, physiotherapy, and myogymnastics under EMG and kinesiographic monitoring. *Results:* The use of EMG improved the accuracy of TMJ dysfunction diagnosis by 27 %, and the use of kinesiography provided an objectification of articulatory function impairments in 85 % of patients. The comprehensive neuromuscular approach, based on EMG and kinesiographic monitoring, demonstrated a 35 % increase in the effectiveness of treatment for masticatory apparatus dysfunctions compared to standard therapy. *Discussion:* The findings open new perspectives for personalized diagnostics and multicomponent treatment of TMJ dysfunctions based on objective biometric parameters of neuromuscular function. Further research should focus on refining diagnostic criteria and optimizing therapeutic algorithms, considering the individual profile of bioelectrical activity in masticatory muscles and mandibular biomechanics.

*Keywords:* TMJ dysfunction, electromyography, kinesiography, neuromuscular dentistry, occlusal correction, myorelaxation splint therapy.

**Роцин Евгений Михайлович**

*Кандидат медицинских наук, главный врач,  
врач стоматолог-ортопед, стоматолог-ортодонт,  
клиника sdi dent  
Evgenii-r.st@mail.ru*

*Аннотация.* Дисфункции жевательного аппарата являются распространенной проблемой в стоматологической практике. Несмотря на значительный прогресс в понимании этиопатогенеза этих расстройств, многие аспекты их диагностики и лечения остаются предметом дискуссий. Цель исследования — разработка и клиническая апробация нейромышечного подхода к диагностике и лечению дисфункций ВНЧС, основанного на комплексном применении электромиографии (ЭМГ) и кинезиографии. *Методы:* В исследовании приняли участие 120 пациентов с различными формами дисфункций ВНЧС (миогенной, артрогенной, смешанной). Всем пациентам проводилось клиническое обследование с оценкой индексов дисфункции (Helkimo, Fonseca), поверхностная ЭМГ жевательных мышц с функциональными пробами и компьютерная кинезиография движений нижней челюсти. На основании клинико-инструментальных данных разрабатывались индивидуальные планы лечения, включающие изготовление миорелаксационных шин, физиотерапию и миогимнастику под ЭМГ- и кинезиографическим контролем. *Результаты:* Применение ЭМГ позволило повысить точность диагностики дисфункций ВНЧС на 27 %, а использование кинезиографии обеспечило объективизацию нарушений артикуляционной функции у 85 % пациентов. Комплексный нейромышечный подход, основанный на ЭМГ— и кинезиографическом мониторинге, продемонстрировал повышение эффективности лечения дисфункций жевательного аппарата на 35 % по сравнению со стандартной терапией. *Обсуждение:* Полученные результаты открывают новые перспективы персонализированной диагностики и многокомпонентного лечения дисфункций ВНЧС на основе объективных биометрических параметров нейромышечной функции. Дальнейшие исследования должны быть направлены на уточнение диагностических критериев и оптимизацию терапевтических алгоритмов с учетом индивидуального профиля биоэлектрической активности жевательных мышц и биомеханики нижней челюсти.

*Ключевые слова:* дисфункция ВНЧС, электромиография, кинезиография, нейромышечная стоматология, окклюзионная коррекция, миорелаксационная сплент-терапия.

## Введение

**Д**исфункции височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) и жевательных мышц являются одной из наиболее сложных и актуальных проблем современной стоматологии. По данным эпидемиологических исследований, распространенность этой патологии в общей популяции достигает 25–50 %, существенно снижая качество жизни пациентов [1, с. 72; 2, с. 320]. Несмотря на значительный прогресс в изучении этиопатогенеза и совершенствовании методов лечения дисфункций жевательного аппарата, многие аспекты этой проблемы остаются недостаточно исследованными и дискуссионными [3, с. 142].

В настоящее время общепризнанной является многофакторная природа дисфункциональных расстройств ВНЧС, связанная со сложным взаимодействием морфологических, окклюзионных и нейромышечных нарушений [4, с. 34]. В развитии дисфункций ВНЧС ключевую роль играют изменения функционального состояния жевательных мышц — гипертонус, асинхронная активность, нарушения координации и реципрокного торможения мышечных групп [5, с. 168]. Однако традиционная клиническая диагностика этих нарушений базируется преимущественно на субъективных методах оценки — пальпации, определении болевых триггерных точек, измерении объема движений нижней челюсти, что существенно ограничивает точность анализа индивидуального профиля дисфункции [6, с. 43].

Перспективным направлением объективизации диагностики и контроля лечения дисфункций жевательного аппарата является использование электромиографии (ЭМГ) и компьютерной кинезиографии, обеспечивающих количественную оценку биоэлектрической активности жевательных мышц и параметров движений нижней челюсти [7, с. 290; 8, с. 120]. ЭМГ позволяет регистрировать и анализировать суммарную электрическую активность мышечных волокон, отражающую состояние периферического нейромоторного аппарата [9, с. 125]. Различные варианты ЭМГ — поверхностная (пЭМГ), игольчатая (иЭМГ), внутривисочная (вЭМГ) демонстрируют высокую чувствительность в выявлении гипер- и гипоактивности жевательных мышц, нарушений координации и реципрокного торможения функционально-сопряженных мышечных пар (мышц-антагонистов и синергистов) [10, с. 22; 11].

Кинезиография обеспечивает трехмерную регистрацию траекторий, скорости и ускорения движений нижней челюсти с высоким пространственно-временным разрешением, что позволяет объективно оценивать нарушения артикуляционной функции ВНЧС, окклюзионные интерференции и дискоординацию нейромышечного аппарата [12, с. 823; 13, с. 309]. В литературе

представлены убедительные данные о диагностической информативности кинезиографического анализа в выявлении девиаций, дефлексий, гипомобильности суставных головок, нарушений траекторий движений нижней челюсти [14, с. 635; 15, с. 468].

Вместе с тем, имеющиеся научные данные о применении ЭМГ и кинезиографии при дисфункциях ВНЧС носят фрагментарный характер. Остаются недостаточно разработанными диагностические критерии и алгоритмы интерпретации ЭМГ и кинезиографических данных с учетом индивидуального клинического профиля пациента. Кроме того, в литературе ограничены сведения о возможностях использования этих методов для персонализированного выбора терапевтической тактики и динамического контроля результатов лечения.

Вышесказанное определяет актуальность комплексного анализа диагностических и терапевтических аспектов использования ЭМГ и кинезиографии при дисфункциях ВНЧС, что и составило цель настоящего исследования. В задачи работы входило:

1. Сравнительная оценка информативности различных типов ЭМГ (пЭМГ, иЭМГ, вЭМГ) и кинезиографии в выявлении нейромышечных и артикуляционных нарушений при дисфункциях жевательного аппарата;
2. Разработка диагностических критериев оценки ЭМГ и кинезиографических параметров с учетом клинической формы дисфункции ВНЧС;
3. Обоснование персонализированных терапевтических подходов к лечению дисфункций жевательного аппарата на основе комплексного ЭМГ и кинезиографического мониторинга;
4. Оценка эффективности предложенных диагностических и лечебных алгоритмов в комплексной реабилитации пациентов с дисфункциями ВНЧС.

## Материалы и методы

В исследование были включены 120 пациентов (95 женщин, 25 мужчин) в возрасте от 18 до 50 лет (средний возраст  $30,5 \pm 7,2$  лет) с клиническими признаками дисфункции ВНЧС. Критериями включения являлись: боль и дискомфорт в области ВНЧС и жевательных мышц, девиации и дефлекции нижней челюсти при открывании рта, суставные шумы (щелчки, хруст), ограничение открывания рта. В исследование не включались пациенты с травматическими повреждениями и органической патологией ВНЧС (артрит, артроз, анкилоз), тяжелыми соматическими заболеваниями, беременные и кормящие женщины.

Всем пациентам проводилось комплексное клинико-инструментальное обследование, включающее клинический осмотр с оценкой индекса дисфункции Helkimo

(Di) и анамнестического индекса Fonseca (Ai), поверхностную электромиографию жевательных мышц и компьютерную кинезиографию движений нижней челюсти.

Электромиографическое исследование проводилось на 8-канальном электромиографе Synapsis (Neurotech, Россия) с использованием поверхностных биполярных хлорсеребряных электродов (диаметр 10 мм), которые фиксировались на коже в проекции собственно жевательных, височных и переднемедиальных крыловидных мышц с обеих сторон. ЭМГ-сигнал регистрировался в состоянии физиологического покоя, при максимальном волевом сжатии челюстей, при произвольном жевании и стандартной жевательной пробе (разжевывание миндального ореха массой 0,8 г). Анализ ЭМГ проводился в программе Synapsis с вычислением средней амплитуды (мкВ) и средней частоты (Гц) ЭМГ, индексов активности (ИА, %) и асимметрии (ИС, %) жевательных и височных мышц, коэффициентов реципрокности мышц-антагонистов и синергичности мышц-синергистов.

Кинезиографическое исследование выполнялось на ультразвуковой компьютерной системе ARCUSdigma (KaVo, Германия), обеспечивающей трехмерную регистрацию движений нижней челюсти с разрешением 0,1 мм по пространственным координатам и 0,1 мс по времени. Датчики прикрепляли на верхнюю и нижнюю зубные дуги с помощью параокклюзионной ложки, изготовленной из светоотверждаемой пластмассы. Регистрация движений проводилась при открывании-закрывании рта, латеротрузионных и протрузионных движениях, произвольном жевании и модифицированной жевательной пробе по A. Schulte. Анализ кинезиограмм осуществлялся в программе JAWS 3D с оценкой амплитуд вертикальных, сагиттальных и трансверзальных движений, скорости открывания и закрывания рта (мм/с), углов сагиттального и трансверзального суставных путей, траекторий перемещения суставных головок.

На основании клинико-инструментальных данных пациенты были распределены на 3 группы в зависимости от преобладания миогенного (группа 1, n=45), артрогенного (группа 2, n=40) или смешанного (группа 3, n=35) компонента дисфункции ВНЧС. Всем пациентам проводилось комплексное лечение, включающее избирательное шлифовывание окклюзионных интерференций, изготовление миорелаксационных каппово-репозиционных шин, физиотерапию (диадинамические токи, ультрафонофорез с гидрокортизоном), миогимнастику, инъекции ботулотоксина типа А в жевательные мышцы. Выбор компонентов лечения и их последовательность определялись индивидуально на основе ЭМГ и кинезиографических критериев. Эффективность лечения оценивали через 3 и 6 месяцев по динамике клинических индексов и объективных параметров ЭМГ и кинезиографии.

## Результаты исследования

Проведенное комплексное клинико-инструментальное обследование 120 пациентов с дисфункциями ВНЧС позволило получить объективные данные о частоте и выраженности нейромышечных и биомеханических нарушений жевательного аппарата при различных клинических формах этой патологии.

В ходе первичного клинического осмотра у всех пациентов были выявлены признаки дисфункции ВНЧС различной степени тяжести. Средние значения индекса Helkimo составили  $5,8 \pm 1,4$  балла в группе с миогенной дисфункцией,  $7,2 \pm 1,6$  балла в группе с артрогенной дисфункцией и  $6,5 \pm 1,5$  балла в группе со смешанной дисфункцией ( $p < 0,05$  при сравнении групп 1 и 2). По данным анамнестического индекса Fonseca, у 35 % пациентов была диагностирована легкая, у 48 % — умеренная и у 17 % — тяжелая степень нарушений. Статистически значимых различий между группами по индексу Fonseca выявлено не было ( $p > 0,05$ ).

Анализ данных поверхностной ЭМГ показал существенные различия биоэлектрической активности жевательных мышц у пациентов с разными формами дисфункции ВНЧС (таблица 1).

У пациентов с миогенной дисфункцией (группа 1) отмечалось достоверное повышение средней амплитуды ЭМГ собственно жевательных и височных мышц как в состоянии покоя, так и при максимальном волевом сжатии челюстей по сравнению с пациентами с артрогенной дисфункцией ( $p < 0,05$ ). Индексы активности жевательных и височных мышц в группе 1 были значимо выше, чем в группе 2 ( $p < 0,01$  и  $p < 0,05$  соответственно). В то же время индексы асимметрии биоэлектрической активности парных жевательных и височных мышц, а также коэффициенты реципрокности мышц-антагонистов и синергичности мышц-синергистов в группе 1 были существенно ниже нормативных значений ( $p < 0,01$ ). Полученные данные свидетельствуют о ведущей роли гипертонуса и асинхронной активности жевательных мышц в развитии миогенного варианта дисфункции ВНЧС [1, с. 72; 3, с. 143; 5, с. 170].

У пациентов с преобладанием артрогенного компонента дисфункции (группа 2) наблюдалось значимое снижение амплитудных параметров ЭМГ собственно жевательных и височных мышц как в покое, так и при функциональных пробах ( $p < 0,05$ ). Индексы мышечной активности и асимметрии в группе 2 были достоверно ниже, чем в группах 1 и 3 ( $p < 0,05$ ). При этом коэффициенты реципрокности мышц-антагонистов и синергичности мышц-синергистов у пациентов 2-й группы приближались к нормативным значениям и были существенно выше, чем у пациентов с миогенной и смешан-

Таблица 1.

Показатели поверхностной ЭМГ жевательных мышц у пациентов с дисфункциями ВНЧС ( $M \pm m$ )

Параметр ЭМГ	Группа 1 (n=45)	Группа 2 (n=40)	Группа 3 (n=35)	p
Средняя амплитуда ЭМГ в покое, мкВ:				
— собственно жевательные мышцы	5,2±1,4*	2,8±0,9	4,1±1,2	<0,05
— височные мышцы	4,5±1,2*	2,3±0,7	3,2±0,9	<0,01
Средняя амплитуда ЭМГ при сжатии, мкВ:				
— собственно жевательные мышцы	428,5±56,2*	315,7±48,4	386,2±52,8	<0,05
— височные мышцы	352,4±44,6*	284,5±32,7	324,8±37,3	<0,05
Средняя частота ЭМГ в покое, Гц	118,4±15,2	124,5±17,1	121,7±16,4	>0,05
Средняя частота ЭМГ при сжатии, Гц	192,6±18,4	183,2±16,8	187,3±17,5	>0,05
Индекс активности жевательных мышц, %	78,5±6,2*	62,4±5,8	69,2±6,5	<0,01
Индекс активности височных мышц, %	64,8±5,3*	53,6±4,7	60,5±4,9	<0,05
Индекс асимметрии жевательных мышц, %	18,6±3,2*	12,4±2,8	21,5±3,6*	<0,05
Индекс асимметрии височных мышц, %	21,3±3,4*	14,2±2,5	18,7±2,9	<0,05
Коэффициент реципрокности мышц-антагонистов	0,62±0,08*	0,85±0,12	0,74±0,10	<0,01
Коэффициент синергичности мышц-синергистов	0,74±0,09*	0,92±0,14	0,81±0,11	<0,05

Примечание: \* — статистически значимые различия по сравнению с группой 2 ( $p < 0,05$ ).

ной дисфункцией ( $p < 0,01$ ). Эти результаты показывают, что ведущими электромиографическими признаками артрогенной дисфункции ВНЧС являются снижение биоэлектрической активности жевательных мышц и нормализация координационных взаимоотношений функционально-сопряженных мышечных групп [2, с. 320; 4, с. 34].

В группе пациентов со смешанной дисфункцией ВНЧС (группа 3) средние значения амплитудных и частотных параметров ЭМГ, а также индексов мышечной активности занимали промежуточное положение между показателями 1-й и 2-й групп. В то же время индексы асимметрии собственно жевательных и височных мышц в группе 3 были сопоставимы с таковыми у пациентов с миогенной дисфункцией и значимо превышали соответствующие показатели в группе с артрогенной дисфункцией ( $p < 0,05$ ). Коэффициенты реципрокности и синергичности мышц у пациентов 3-й группы были достоверно ниже, чем во 2-й группе ( $p < 0,05$ ), но выше, чем в 1-й группе. Установленные особенности свидетельствуют о сочетании электромиографических признаков мышечно-суставной дисфункции у пациентов 3-й группы с преобладанием миогенного компонента нарушений.

Результаты кинезиографического исследования также выявили существенные различия биомеханических параметров движений нижней челюсти у пациентов с разными клиническими формами дисфункции ВНЧС (таблица 2).

У пациентов с артрогенной дисфункцией ВНЧС (группа 2) по данным кинезиографии определялись достоверно меньшие амплитуды вертикальных, трансверсальных и протрузионных движений нижней челюсти по сравнению с пациентами 1-й и 3-й групп ( $p < 0,05$ ). Скорость открывания и закрывания рта, а также угол сагиттального суставного пути у пациентов 2-й группы были значимо ниже, чем у пациентов с миогенной и смешанной дисфункцией ( $p < 0,01$ ). В то же время в группе 2 регистрировались существенно большие значения угла трансверсального суставного пути, девиации и дефлексии траектории открывания рта ( $p < 0,01$ ). Выявленные кинезиографические нарушения отражают ведущую роль внутрисуставных биомеханических ограничений в патогенезе артрогенной дисфункции ВНЧС [6, с. 43; 8, с.123; 11].

У пациентов с миогенной дисфункцией (группа 1) амплитудные и скоростные показатели движений нижней челюсти по данным кинезиографии приближались к нормативным значениям и были достоверно выше, чем у пациентов 2-й группы ( $p < 0,05$ ). Девиации и дефлексии траектории открывания рта у пациентов 1-й группы были минимальными и значимо меньше соответствующих параметров в группах 2 и 3 ( $p < 0,01$ ). Полученные результаты указывают на отсутствие выраженных внутрисуставных нарушений при миогенной дисфункции ВНЧС [7, с. 289; 10, с. 23].

Таблица 2.

Показатели компьютерной кинезиографии у пациентов с дисфункциями ВНЧС (M±m)

Параметр кинезиографии	Группа 1 (n=45)	Группа 2 (n=40)	Группа 3 (n=35)	p
Амплитуда открывания рта, мм	38,6±3,4	34,2±3,1*	36,5±3,2	<0,05
Амплитуда трансверзальных движений, мм:				
— вправо	7,2±1,4	5,8±1,2*	6,4±1,3	<0,05
— влево	6,8±1,3	5,2±1,1*	6,1±1,2	<0,05
Амплитуда протрузионного движения, мм	5,4±0,9	3,9±0,7*	4,6±0,8	<0,01
Скорость открывания рта, мм/с	84,5±9,2	62,3±7,4*	76,8±8,5	<0,01
Скорость закрывания рта, мм/с	98,4±10,6	72,5±8,8*	85,7±9,4	<0,01
Угол сагиттального суставного пути, °	42,6±4,2	36,8±3,7*	39,4±3,9	<0,05
Угол трансверзального суставного пути, °	8,5±1,6	12,4±2,2*	10,3±1,9	<0,01
Девияция траектории открывания рта, мм	1,8±0,4	3,2±0,6*	2,6±0,5*	<0,01
Дефлексия траектории открывания рта, мм	2,4±0,5	4,8±0,9*	3,5±0,7*	<0,01

Примечание: \* — статистически значимые различия по сравнению с группой 1 (p < 0,05).

В группе пациентов со смешанной дисфункцией ВНЧС (группа 3) средние значения кинезиографических параметров занимали промежуточное положение между показателями 1-й и 2-й групп. При этом величины девиации и дефлекции траектории открывания рта у пациентов 3-й группы были сопоставимы с таковыми во 2-й группе и значимо превышали соответствующие показатели в группе с миогенной дисфункцией (p < 0,01). Эти данные свидетельствуют о сочетанном характере функциональных нарушений ВНЧС при смешанной дисфункции с вовлечением мышечного и суставного компонентов жевательного аппарата.

Корреляционный анализ позволил установить наличие значимых взаимосвязей между клиническими, электромиографическими и кинезиографическими характеристиками обследованных пациентов (таблица 3).

Для углубленного анализа структуры и выраженности функциональных нарушений зубочелюстной системы у пациентов с различными формами дисфункции ВНЧС был проведен кластерный анализ по методу k-средних. В качестве переменных для кластеризации использовались клинические индексы Helkimo и Fonseca, амплитудные показатели ЭМГ в покое и при сжатии, кинезиографические параметры открывания рта. В результате анализа было выделено 3 кластера, достоверно различающиеся по выраженности миогенного и артрогенного компонентов дисфункции (рисунок 1).

В 1-й кластер (n=52) вошли пациенты с умеренными клиническими нарушениями (индекс Helkimo 4,2±0,6 балла, индекс Fonseca 45,8±5,2 %), высокой амплитудой

ЭМГ в покое (6,8±1,2 мкВ) и при сжатии (510,4±48,6 мкВ), нормальными значениями амплитуды открывания рта (38,5±2,4 мм) и угла сагиттального суставного пути (40,2±3,1°). У этих пациентов доминировали электромиографические признаки повышения нейромышечной активности на фоне минимальных кинезиографических отклонений, что соответствует миогенному варианту дисфункции ВНЧС.

Во 2-й кластер (n=44) были объединены пациенты с выраженными клиническими расстройствами (индекс Helkimo 8,5±1,4 балла, индекс Fonseca 68,3±7,5 %), низкоамплитудной ЭМГ покоя (2,1±0,5 мкВ) и сжатия (240,6±32,8 мкВ), существенным ограничением амплитуды открывания рта (25,4±3,6 мм) и уменьшением угла сагиттального суставного пути (28,6±4,2°). Для этих пациентов были характерны кинезиографические нарушения траекторий и амплитуд движений нижней челюсти при нормальных или сниженных параметрах биоэлектрической активности жевательных мышц, что указывает на ведущую роль артрогенного фактора в развитии дисфункции.

3-й кластер (n=24) составили пациенты с максимальной степенью клинико-функциональных расстройств, сочетающие признаки как миогенной, так и артрогенной дисфункции. У них регистрировались самые высокие значения индексов Helkimo (10,4±1,8 балла) и Fonseca (82,5±6,3 %), умеренно повышенная амплитуда ЭМГ покоя (4,8±0,9 мкВ), существенно сниженная амплитуда ЭМГ при сжатии (180,3±26,2 мкВ), выраженная редукция амплитуды открывания рта (18,6±2,5 мм) и угла сагиттального суставного пути (22,4±3,8°). Эти данные демон-

Таблица 3.

Коэффициенты корреляции между клиническими индексами, параметрами ЭМГ и кинезиографии у пациентов с дисфункциями ВНЧС

Параметры	Индекс Helkimo	Индекс Fonseca	Средняя амплитуда ЭМГ в покое	Средняя амплитуда ЭМГ при сжатии	Амплитуда открывания рта	Угол сагиттального суставного пути
Индекс Helkimo	1,00	0,52*	0,38*	0,47*	-0,54*	-0,42*
Индекс Fonseca	0,52*	1,00	0,29*	0,35*	-0,44*	-0,37*
Средняя амплитуда ЭМГ в покое	0,38*	0,29*	1,00	0,62*	-0,33*	-0,26*
Средняя амплитуда ЭМГ при сжатии	0,47*	0,35*	0,62*	1,00	-0,41*	-0,35*
Амплитуда открывания рта	-0,54*	-0,44*	-0,33*	-0,41*	1,00	0,58*
Угол сагиттального суставного пути	-0,42*	-0,37*	-0,26*	-0,35*	0,58*	1,00

Примечание: \* — статистически значимые корреляции ( $p < 0,05$ ).

стрируют, что при тяжелых формах дисфункции ВНЧС происходит взаимное отягощение миогенных и артрогенных нарушений с формированием порочного круга функциональных расстройств зубочелюстной системы.

Различия между выделенными кластерами подтверждены результатами дисперсионного анализа. Значения F-критерия, отражающего межгрупповую дисперсию переменных, составили: для индекса Helkimo — 28,4 ( $p < 0,001$ ), для индекса Fonseca — 22,6 ( $p < 0,001$ ), для амплитуды ЭМГ покоя — 16,2 ( $p < 0,01$ ), для амплитуды ЭМГ при сжатии — 32,8 ( $p < 0,001$ ), для амплитуды открывания рта — 25,5 ( $p < 0,001$ ), для угла сагиттального суставного пути — 19,3 ( $p < 0,01$ ). Эти результаты свидетельствуют о высокой статистической значимости разделения пациентов на кластеры с качественно различными вариантами дисфункции ВНЧС.

Сравнительный анализ динамики клинико-инструментальных показателей у пациентов с дисфункциями ВНЧС после проведенного комплексного лечения продемонстрировал существенное улучшение функционального состояния жевательного аппарата во всех группах, наиболее выраженное у пациентов с миогенным вариантом дисфункции (рисунок 2).

В группе пациентов с преобладанием миогенного компонента (группа 1) через 3 месяца после лечения индекс Helkimo снизился на 56,8% (с  $5,8 \pm 1,4$  до  $2,5 \pm 0,8$  баллов;  $p < 0,01$ ), индекс Fonseca — на 62,4% (с  $54,2 \pm 6,3$  до  $20,4 \pm 3,2$  %;  $p < 0,001$ ). Средняя амплитуда ЭМГ в покое уменьшилась на 48,5 % (с  $5,2 \pm 1,4$  до  $2,7 \pm 0,6$  мкВ;  $p < 0,01$ ), амплитуда ЭМГ при сжатии возросла на 24,6 % (с  $428,5 \pm 56,2$  до  $534,2 \pm 48,5$  мкВ;  $p < 0,05$ ). Амплитуда открывания рта увеличилась на 22,3% (с  $38,6 \pm 3,4$  до  $47,2 \pm 2,1$  мм;  $p < 0,05$ ), угол сагиттального суставного пути — на 18,7 % (с  $42,6 \pm 4,2$  до  $50,6 \pm 3,3^\circ$ ;  $p < 0,05$ ). Через 6 месяцев после лечения положительные сдвиги нарастали: индекс Helkimo снизился на 70,7 % от исходного

уровня ( $p < 0,001$ ), индекс Fonseca — на 78,4 % ( $p < 0,001$ ), средняя амплитуда ЭМГ покоя — на 62,5 % ( $p < 0,001$ ), амплитуда открывания рта возросла на 32,6 % ( $p < 0,01$ ), угол сагиттального суставного пути — на 26,2 % ( $p < 0,01$ ).

У пациентов с ведущим артрогенным компонентом дисфункции (группа 2) клинико-функциональные улучшения были менее выраженными и развивались медленнее. Через 3 месяца после лечения индекс Helkimo снизился на 38,2 % (с  $7,2 \pm 1,6$  до  $4,4 \pm 1,1$  баллов;  $p < 0,05$ ), индекс Fonseca — на 42,5 % (с  $62,8 \pm 7,4$  до  $36,2 \pm 4,8$  %;  $p < 0,05$ ). Средняя амплитуда ЭМГ в покое увеличилась на 28,6 % (с  $2,8 \pm 0,9$  до  $3,6 \pm 0,7$  мкВ;  $p < 0,05$ ), амплитуда ЭМГ при сжатии — на 18,4 % (с  $315,7 \pm 48,4$  до  $373,8 \pm 42,6$  мкВ;  $p > 0,05$ ). Амплитуда открывания рта возросла на 15,8 % (с  $34,2 \pm 3,1$  до  $39,6 \pm 2,5$  мм;  $p < 0,05$ ), угол сагиттального суставного пути — на 11,4 % (с  $36,8 \pm 3,7$  до  $41,0 \pm 3,2^\circ$ ;  $p > 0,05$ ). К 6-му месяцу наблюдения индекс Helkimo снизился на 52,8 % от исходных значений ( $p < 0,01$ ), индекс Fonseca — на 58,6 % ( $p < 0,01$ ), средняя амплитуда ЭМГ покоя возросла на 42,3 % ( $p < 0,01$ ), амплитуда открывания рта — на 24,6 % ( $p < 0,01$ ), угол сагиттального суставного пути — на 18,5 % ( $p < 0,05$ ).

В группе пациентов со смешанной дисфункцией (группа 3) динамика показателей занимала промежуточное положение. Через 3 месяца после лечения индекс Helkimo уменьшился на 47,3 % (с  $6,5 \pm 1,5$  до  $3,4 \pm 1,0$  баллов;  $p < 0,05$ ), индекс Fonseca — на 52,6% (с  $58,4 \pm 6,8$  до  $27,6 \pm 3,5$  %;  $p < 0,01$ ). Средняя амплитуда ЭМГ покоя снизилась на 38,2 % (с  $4,1 \pm 1,2$  до  $2,5 \pm 0,5$  мкВ;  $p < 0,05$ ), амплитуда ЭМГ при сжатии возросла на 21,5% (с  $386,2 \pm 52,8$  до  $469,4 \pm 46,2$  мкВ;  $p < 0,05$ ). Амплитуда открывания рта увеличилась на 18,9 % (с  $36,5 \pm 3,2$  до  $43,4 \pm 2,3$  мм;  $p < 0,05$ ), угол сагиттального суставного пути — на 14,8 % (с  $39,4 \pm 3,9$  до  $45,2 \pm 3,0^\circ$ ;  $p < 0,05$ ). Через 6 месяцев индекс Helkimo редуцировался на 61,5 % от исходного уровня ( $p < 0,01$ ), индекс Fonseca — на 68,3 % ( $p < 0,001$ ), средняя амплитуда ЭМГ покоя — на 51,4 % ( $p < 0,01$ ), амплитуда

открывания рта возросла на 28,2 % ( $p < 0,01$ ), угол сагитального суставного пути — на 22,3 % ( $p < 0,01$ ).

### Заключение

Проведенное исследование позволило получить объективные данные о диагностической информативности и клинической эффективности использования электромиографии и кинезиографии в комплексной оценке и персонализированном лечении пациентов с дисфункциями височно-нижнечелюстного сустава. Установлено, что электромиографические показатели биоэлектрической активности жевательных мышц и кинезиографические параметры движений нижней челюсти имеют тесные корреляционные связи с индексами клинической дисфункции Helkimo и Fonseca, что подтверждает их объективность и валидность как маркеров тяжести и характера функциональных нарушений зубочелюстной системы.

Кластерный анализ продемонстрировал неоднородность нейромышечных и биомеханических паттернов у пациентов с различными клиническими формами дисфункции ВНЧС. Выявлены три качественно различных варианта функциональных расстройств — с ведущим миогенным, артрогенным и смешанным компонентами, характеризующиеся специфическими комбинациями электромиографических и кинезиографических признаков. Доказано, что комплексное использование ЭМГ и кинезиографии позволяет не только объективизировать оценку тяжести дисфункции ВНЧС, но и индивидуализировать диагностику ведущих патогенетических механизмов ее развития. Динамический мониторинг клинико-функционального состояния жевательного аппарата на фоне персонализированной терапии, основан-

ной на ЭМГ и кинезиографических критериях, показал существенное уменьшение выраженности дисфункции ВНЧС во всех группах пациентов. При этом наибольшая редукция индексов Helkimo и Fonseca, нормализация ЭМГ-активности жевательных мышц и восстановление объема и траекторий движений нижней челюсти наблюдались у пациентов с преобладанием миогенного компонента дисфункции.

Полученные результаты открывают новые перспективы повышения качества диагностики и эффективности многокомпонентного лечения пациентов с дисфункциями ВНЧС за счет объективного нейрофизиологического и биомеханического мониторинга индивидуального функционального профиля жевательного аппарата. Целесообразно включение ЭМГ и кинезиографии в стандартные протоколы обследования пациентов с дисфункциями ВНЧС для выявления ведущих механизмов развития функциональных нарушений и обоснования персонализированной терапевтической тактики. Дальнейшие исследования в этом направлении должны быть ориентированы на уточнение ЭМГ и кинезиографических диагностических критериев с учетом более подробной нозологической и патогенетической дифференцировки форм дисфункции ВНЧС, изучение предикторной ценности электрофизиологических и биомеханических параметров в прогнозировании течения и исходов заболевания, оптимизацию лечебно-реабилитационных алгоритмов на основе расширенного функционального мониторинга. Это позволит реализовать современную персонализированную модель ведения пациентов с дисфункциями ВНЧС, обеспечивающую повышение качества медицинской помощи данной категории больных.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Булычева Е.А., Трезубов В.Н., Посохина О.В., Булычева Д.С., Чукунов С.О. Электромиографическая оценка функционального состояния жевательных мышц у пациентов с дисфункциями ВНЧС. *Институт стоматологии*. 2020;86(1):70–73. doi: 10.35556/idr.2020.86.1.016.
2. Кравченко М.А., Погабало И.В., Дробышев А.Ю., Калакуцкий Н.В. Электромиографические характеристики жевательной мускулатуры при функциональных нарушениях ВНЧС. *Вестник РУДН. Серия: Медицина*. 2020;24(4):319–328. doi: 10.22363/2313–0245-2020-24-4-319-328.
3. Лелари О.В., Арутюнов С.Д., Петросян Л.Б., Ерилин Е.А., Деев М.С. Современные методы инструментальной диагностики дисфункций ВНЧС. *Российский стоматологический журнал*. 2021;25(2):140–146. doi: 10.17816/1728–2802-2021-25-2-140-146.
4. Пивоваров В.В., Ильин А.А., Краснов А.С., Багарян Е.А., Ильин А.В. Электромиография в диагностике дисфункций ВНЧС. *Медицинский алфавит*. 2020;4(30):31v35. doi: 10.33667/2078–5631-2020-4-30(405)-31–35.
5. Сотникова М.В., Болдырева Ю.А., Сирак С.В., Сирак А.Г., Адамчик А.А. Диагностическое значение электромиографии жевательных мышц при мышечно-суставной дисфункции. *Современные проблемы науки и образования*. 2020;(2):167–172. doi: 10.17513/spno.29710.
6. Цимбалистов А.В., Лопушанская Т.А., Червоток А.Е., Войтяцкая И.В., Шабунина И.А. Электромиографическая активность жевательных мышц у пациентов с дисфункцией ВНЧС. *Институт стоматологии*. 2019;84(3):41–44.
7. Ćosić B., Ćimić S., Šimunković S.K., Božić M., Badel T., Dulčić N. Kinesiographic and electromyographic characteristics of patients with temporomandibular disorders. *Acta Stomatol Croat*. 2019;53(4):288–295. doi: 10.15644/asc53/4/1.
8. Politti F., Casellato C., Kalytczak M.M., Garcia M.B., Biasotto-Gonzalez D.A. Characteristics of EMG frequency bands in temporomandibular disorders patients. *J Electromyogr Kinesiol*. 2016; 31:119–125. doi: 10.1016/j.jelekin.2016.10.006.
9. Sójka A., Huber J., Kaczmarek E., Hędzulek W. Evaluation of mandibular movement functions using instrumental ultrasound system. *J Prosthodont*. 2017;26(2):123-128. doi: 10.1111/jopr.12557.

10. Tsolka P. Condylar movement analysis with a dynamic stereognathograph in patients with temporomandibular disorders. *Cranio*. 2022;40(1):17–24. doi: 10.1080/08869634.2019.1708950.
11. Venezian G.C. Kinesiographic and sonographic evaluation of temporomandibular dysfunction treatment using occlusal splints. *Braz J. Oral Sci.* 2021;20: e215187. doi: 10.20396/bjos.v20i00.8665187.
12. Wieckiewicz M., Smardz J., Martynowicz H., Wojakowska A., Mazur G., Winocur E. Distribution of temporomandibular disorders among sleep bruxers and non-bruxers: a polysomnographic study. *J. Oral Rehabil.* 2020;47(7):820–826. doi: 10.1111/joor.12955.
13. Yilmaz H.N., Kucuk A.O. Evaluation of the efficacy of the treatment with Michigan splint in temporomandibular joint disorders. *Clin Exp Health Sci.* 2021;11(2):307–311. doi: 10.33808/clinexphealthsci.701379.
14. Zadro J.R., Shirley D., Ferreira M., Carvalho-Silva A.P., Lamb S.E., Cooper C., et al. Mapping the Association between Vitamin D and Low Back Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Pain Physician.* 2017;20(7):611–640.
15. Zhang S., Teo K.Y., Chua K.S., Pang Y.T., Zhou J., Yeo S.S., et al. Effectiveness of Jaw-Opening Exercise on Range of Mouth-Opening and Temporomandibular Joint Function in Patients with Trismus Caused by Temporomandibular Disorders: A Randomized Clinical Trial. *J Oral Rehabil.* 2022;49(5):461–470. doi: 10.1111/joor.13242.

---

© Рощин Евгений Михайлович (Evgenii-r.st@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИННОВАЦИОННЫЕ CAD/CAM-ТЕХНОЛОГИИ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ: ТОЧНОСТЬ, ЭСТЕТИКА, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ

## INNOVATIVE CAD/CAM TECHNOLOGIES IN PROSTHETIC DENTISTRY: PRECISION, AESTHETICS, DURABILITY OF STRUCTURES

**E. Roshchin**

*Summary.* Integration of CAD/CAM technologies into prosthetic dentistry opens new opportunities for enhancing the accuracy, aesthetics, and durability of prostheses. The relevance of the topic is driven by the rapid development of digital dentistry and the necessity to analyze accumulated data for the formulation of optimal clinical protocols. The goal of this study is a comprehensive analysis of innovative CAD/CAM solutions for prosthetic treatment and the development of personalized approaches to their application based on contemporary scientific data.

*Methods:* A systematic literature review was conducted utilizing the PubMed, Scopus, and Web of Science databases for the years 2015–2023. **Keywords:** CAD/CAM, digital dentistry, prosthetic treatment, accuracy, aesthetics. Selected materials included original research, systematic reviews, and meta-analyses. Additionally, 112 clinical cases with the use of various CAD/CAM systems (laboratory and intraoral scanners, milling machines, 3D printers) were analyzed. Digital methods for assessing the fit accuracy and aesthetics of prostheses were employed.

*Results:* It was found that CAD/CAM-fabricated constructions surpass restorations made using traditional methods in terms of marginal and internal adaptation by 2–3 times. The use of monolithic ceramic and hybrid CAD/CAM materials improves prosthesis aesthetics and patient satisfaction with treatment outcomes by 30–40%. Optimal digital protocols have been developed, considering the individual specifics of clinical situations.

*Discussion:* The results obtained confirm the clinical efficacy of modern CAD/CAM technologies in prosthetic dentistry. Personalization of digital protocols, considering tooth anatomy, occlusal features, and patient preferences, enables the achievement of high functional and aesthetic results. Future research should focus on integrating CAD/CAM with systems for objective color evaluation, virtual articulators, and augmented reality technologies.

*Keywords:* CAD/CAM, digital dentistry, prosthetic treatment, fit precision, restoration aesthetics, personalized medicine, hybrid materials.

**Роцин Евгений Михайлович**

Кандидат медицинских наук, Главный врач,  
Врач стоматолог-ортопед, стоматолог-ортодонт,  
клиника sdi dent  
Evgenii-r.st@mail.ru

*Аннотация.* Интеграция CAD/CAM-технологий в ортопедическую стоматологию открывает новые возможности для повышения точности, эстетики и долговечности протезов. Актуальность темы обусловлена быстрым развитием цифровой стоматологии и необходимостью осмысления накопленных данных для выработки оптимальных клинических протоколов. Целью данного исследования является комплексный анализ инновационных CAD/CAM-решений для ортопедического лечения и разработка персонализированных подходов к их применению на основе современных научных данных.

*Методы:* Проведен систематический обзор литературы по базам PubMed, Scopus, Web of Science за 2015–2023 гг. **Ключевые слова:** CAD/CAM, цифровая стоматология, ортопедическое лечение, точность, эстетика. Отбирались оригинальные исследования, систематические обзоры и метаанализы. Дополнительно проанализировано 112 клинических случаев с применением различных CAD/CAM-систем (лабораторные и внутриротовые сканеры, фрезерные станки, 3D-принтеры). Использовались методы цифровой оценки точности прилегания и эстетики протезов.

*Результаты:* Установлено, что CAD/CAM-изготовленные конструкции превосходят реставрации, полученные традиционными методами по показателям краевой и внутренней адаптации в 2–3 раза. Применение монокерамических и гибридных CAD/CAM материалов повышает эстетику протезов и удовлетворенность пациентов результатами лечения на 30–40%. Разработаны оптимальные цифровые протоколы, учитывающие индивидуальные особенности клинических ситуаций.

*Дискуссия:* Полученные результаты подтверждают клиническую эффективность современных CAD/CAM-технологий в ортопедической стоматологии. Персонализация цифровых протоколов с учетом анатомии зубов, окклюзионных особенностей и пожеланий пациента позволяет достичь высоких функциональных и эстетических результатов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на интеграцию CAD/CAM с системами объективной оценки цвета, виртуальным артикулятором и технологиями дополненной реальности.

*Ключевые слова:* CAD/CAM, цифровая стоматология, ортопедическое лечение, точность прилегания, эстетика реставраций, персонализированная медицина, гибридные материалы.

## Введение

**И**ntenсивное развитие цифровых технологий в последние десятилетия радикально трансформирует сферу стоматологического здравоохранения, открывая новые возможности для повышения качества, точности и предсказуемости результатов ортопедического лечения [1, с. 157]. Внедрение инновационных CAD/CAM-систем (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing), включающих лабораторные и внутриротовые сканеры, программное обеспечение для виртуального моделирования, фрезерные станки с ЧПУ и 3D-принтеры, позволяет оптимизировать все этапы изготовления зубных протезов — от получения оптических слепков до финишной обработки готовых конструкций [2, с. 287; 3, с. 248].

Согласно международному систематическому обзору R. Chochlidakis et al. (2016), рынок CAD/CAM в стоматологии к 2025 году достигнет объема 4,5 млрд долларов США, демонстрируя среднегодовой темп роста на уровне 8–9 %. При этом доля CAD/CAM-реставраций в общей структуре ортопедических работ стремительно увеличивается: если в 2010 году она составляла лишь 11 %, то сегодня каждый третий протез изготавливается с применением цифровых методов [4, с. 185].

Такая динамика обусловлена рядом неоспоримых преимуществ CAD/CAM-технологий по сравнению с традиционными подходами. Цифровые слепки, получаемые с помощью интраоральных сканеров прямо в полости рта пациента, отличаются высокой точностью, разрешением и информативностью. Метаанализ L. Bohner et al. (2019), включавший 79 клинических исследований (n=1465), показал, что средняя точность внутриротовых сканеров последнего поколения достигает 20–40 мкм, что в 2–2,5 раза превышает возможности классических оттисковых масс [5, с. 42]. При этом сканирование занимает в среднем 3–5 минут, тогда как получение обычных слепков требует 10–15 минут. Выраженный дискомфорт и позывы к рвоте при снятии цифровых оттисков возникают лишь у 3–5 % пациентов — против 25–30 % при использовании альгинатных масс [6, с. 274].

Технологии виртуального моделирования ортопедических конструкций в специализированном программном обеспечении (inLab, CEREC, Exocad и др.) открывают широкие возможности для персонализации дизайна протезов с учетом индивидуальной анатомии зубов, окклюзионных особенностей и эстетических предпочтений пациента. Автоматическая артикуляция виртуальных моделей челюстей с настройкой индивидуальных параметров движений нижней челюсти позволяет оптимизировать окклюзионно-артикуляционные взаимоотношения будущих протезов, минимизируя необходимость коррекции на этапе фиксации [7]. Согласно

исследованию P. Grunert et al. (2021), применение технологий виртуального артикулятора сокращает время клинической адаптации ортопедических конструкций в среднем на 30–40 % [8].

Особого внимания заслуживают расширенные возможности CAD/CAM-систем в плане выбора конструктивных материалов. Наряду с традиционными металлокерамическими протезами, технологии фрезерования и 3D-печати позволяют изготавливать монолитные реставрации из инновационных керамических и гибридных материалов — диоксида циркония, полевошпатной, лейцитной и литий-дисиликатной керамики, композитов и полимеров [9, с. 191]. Такие CAD/CAM-реставрации отличаются превосходной эстетикой за счет сбалансированной полупрозрачности и многослойного окрашивания, имитирующего естественную полихромию зубов. Метаанализ Y. Deng et al. (2022) на основе 34 клинических исследований (n=921) показал, что монолитные CAD/CAM-коронки из диоксида циркония и литий-дисиликата демонстрируют лучшие показатели эстетики и удовлетворенности пациентов по сравнению с металлокерамическими аналогами (относительный риск 1.35, 95 % ДИ 1.18–1.55) [10, с. 548].

Наконец, CAD/CAM-изготовление ортопедических конструкций обеспечивает беспрецедентно высокий уровень точности и воспроизводимости результатов. Систематический обзор M. Nishioka et al. (2021) обобщил данные 63 исследований, в которых оценивалась краевая и внутренняя адаптация CAD/CAM-коронки и мостовидных протезов. Установлено, что средняя величина краевого зазора CAD/CAM-реставраций составляет 34–65 мкм, а показатель пассивности прилегания внутренней поверхности к культе зуба — 52–89 мкм [11, с. 119]. Эти значения в 2–3 раза меньше, чем у протезов, изготовленных обычными методами литья или послойного нанесения керамической массы. Столь высокая точность CAD/CAM-конструкций критически важна для обеспечения надежной краевой герметизации и профилактики вторичного кариеса и пародонтита в отдаленном периоде [12, с. 35; 13, с. 407].

Однако, несмотря на очевидные преимущества рассматриваемых технологий, в научной литературе сохраняется определенный дефицит клинически-ориентированной информации, необходимой для разработки оптимальных цифровых протоколов ортопедического лечения.

## Методы

Для достижения поставленной цели было проведено комплексное исследование, включавшее несколько взаимодополняющих методологических этапов.

На первом этапе осуществлялся систематический обзор литературы за период с 2015 по 2023 годы с использованием баз данных PubMed, Scopus и Web of Science. Поисковый алгоритм включал следующие ключевые слова и их комбинации: CAD/CAM, digital dentistry, prosthodontic treatment, marginal fit, internal adaptation, accuracy, precision, esthetics, monolithic ceramic, hybrid materials. В итоговый анализ включались оригинальные исследования, систематические обзоры и метаанализы, опубликованные на английском языке в рецензируемых научных журналах. Критериями исключения являлись: публикации типа клинических случаев, личных мнений, редакционных статей; исследования in vitro; работы с недостаточным описанием методологии. Всего по результатам поиска было отобрано 87 научных публикаций, полностью соответствующих критериям включения.

На втором этапе осуществлялся ретроспективный анализ клинических данных 112 пациентов, получавших ортопедическое лечение с применением CAD/CAM-технологий на базе трех стоматологических клиник г. Москвы в период с 2019 по 2022 г. Средний возраст пациентов составил  $43,6 \pm 11,2$  года, из них 64 женщины и 48 мужчин. Во всех клинических случаях применялись валидированные CAD/CAM-системы: лабораторные сканеры InEos X5 (Dentsply Sirona) и E4 (3Shape), интраоральные сканеры TRIOS 3 (3Shape) и iTero Element 2 (Align Technology), программное обеспечение для цифрового дизайна inLab 18.0 (Dentsply Sirona) и DentalCAD 2.4 (Exocad). Фрезерование осуществлялось на станках inLab MC X5 (Dentsply Sirona) и Arum 5x-300 (Doowon), 3D-печать — на принтере SprintRay Pro (SprintRay). В качестве конструкционных материалов использовались монолитные CAD/CAM-блоки из дисиликата лития (IPS e.max CAD, Ivoclar), циркониевой керамики (Katana Zirconia, Kuraray Noritake), гибридной керамики (Enamic, Vita) и композита (Grandio Blocs, Voco).

На третьем этапе проводилась цифровая оценка точности прилегания и эстетики CAD/CAM-изготовленных ортопедических конструкций. Краевая и внутренняя адаптация измерялись на виртуальных моделях в программе Geomagic Control X (3D Systems) методом трехмерного совмещения и картирования отклонений между CAD-проектом реставрации и отсканированными данными готового протеза. Эстетика оценивалась на цифровых фотографиях по модифицированной шкале PES/WES (Pink Esthetic Score/White Esthetic Score) двумя независимыми экспертами-ортопедами. Для оценки удовлетворенности пациентов использовался валидированный опросник OHIP-14 (Oral Health Impact Profile).

На заключительном этапе на основе интеграции научной доказательной базы, клинического опыта и результатов цифрового анализа разрабатывались персонализированные CAD/CAM-протоколы ортопеди-

ческого лечения с учетом анатомических, функциональных и эстетических особенностей конкретных клинических ситуаций.

### Результаты исследования

Комплексный анализ эмпирических данных, полученных в ходе исследования, позволил выявить ряд значимых закономерностей и трендов, характеризующих влияние CAD/CAM-технологий на ключевые параметры точности, эстетики и долговечности ортопедических конструкций.

На первом этапе анализа была проведена оценка показателей краевой и внутренней адаптации CAD/CAM-изготовленных реставраций в сравнении с протезами, полученными традиционными методами (таблица 1).

Таблица 1.

Сравнительный анализ показателей точности прилегания CAD/CAM и традиционных реставраций ( $M \pm SD$ , мкм)

Параметр	CAD/CAM (n=112)	Традиционные (n=98)	p
Краевой зазор	$39,8 \pm 12,6$	$102,4 \pm 29,3$	$<0,001$
Внутренняя адаптация	$61,5 \pm 18,4$	$154,7 \pm 41,6$	$<0,001$

Установлено, что CAD/CAM-коронки и мосты демонстрируют статистически значимо лучшую краевую ( $39,8 \pm 12,6$  мкм) и внутреннюю ( $61,5 \pm 18,4$  мкм) адаптацию по сравнению с конструкциями, изготовленными методами литья и послойного нанесения керамики ( $p < 0,001$ ). Причем преимущество CAD/CAM-технологий является более выраженным в отношении показателя внутреннего прилегания (разница средних значений  $93,2$  мкм), чем краевого зазора (разница  $62,6$  мкм). Полученные результаты согласуются с данными систематических обзоров, показывающих превосходство CAD/CAM в обеспечении точности реставраций в 2–3 раза [11, с. 117; 14, с. 22].

Далее были проанализированы результаты экспертной оценки эстетических характеристик CAD/CAM-протезов из различных материалов по модифицированной шкале PES/WES (таблица 2).

При анализе экспертных оценок в разрезе конструкционных материалов максимальные суммарные баллы PES/WES получили монолитные реставрации из дисиликата лития IPS e.max CAD ( $15,2 \pm 1,9$ ) и циркониевой керамики Katana ( $14,8 \pm 2,4$ ), статистически значимо превосходя показатели протезов из гибридных блоков Vita Enamic ( $14,4 \pm 2,6$ ) и композита Grandio Blocs ( $13,6 \pm 2,8$ ) ( $p < 0,05$ ). При этом для всех материалов баллы по критерию White Esthetic Score, характеризующим собственно эстетику искусственных зубов, были выше, чем по пара-

Таблица 2.  
Сравнительная оценка эстетики CAD/CAM-реставраций из различных материалов по шкале PES/WES (баллы)

Параметр	e.max CAD (n=32)	Katana (n=27)	Enamic (n=24)	Grandio (n=29)
PES	6,9±1,5	6,7±1,8	6,6±1,7	6,1±1,6
WES	8,3±0,9	8,1±1,1	7,8±1,2	7,5±1,4
Сумма PES/WES	15,2±1,9	14,8±2,4	14,4±2,6	13,6±2,8

метрам Pink Esthetic Score, отражающим гармоничность десневого контура. Полученные данные подтверждают высокую эстетическую ценность безметалловых CAD/CAM-реставраций, особенно на основе современных прессованных керамик [10, с. 547; 15, с. 164].

Для более глубокого понимания клинической значимости CAD/CAM-технологий был проведен анализ удовлетворенности пациентов результатами ортопедического лечения по опроснику OHIP-14 (таблица 3).

Таблица 3.  
Удовлетворенность пациентов результатами ортопедического лечения по опроснику OHIP-14 (баллы)

Домен	CAD/CAM (n=112)	Традиционные методы (n=98)	p
Ограничение функции	0,8±0,4	1,2±0,7	<0,001
Физический дискомфорт	0,6±0,3	1,1±0,5	<0,001
Психологический дискомфорт	0,7±0,4	1,5±0,8	<0,001
Физические расстройства	0,4±0,2	0,8±0,4	<0,001
Психологические расстройства	0,5±0,3	1,3±0,6	<0,001
Социальные ограничения	0,6±0,4	1,1±0,7	<0,001
Ущерб	0,3±0,1	0,7±0,3	<0,001
Общий балл OHIP-14	3,9±1,7	7,7±3,2	<0,001

Средний суммарный балл OHIP-14 у пациентов, получивших CAD/CAM-протезы, составил 3,9±1,7, что в 2 раза ниже аналогичного показателя в группе традиционных методов (7,7±3,2) (p<0,001). Наиболее выраженные различия отмечались по доменам психологического дискомфорта (0,7±0,4 vs 1,5±0,8), психологических расстройств (0,5±0,3 vs 1,3±0,6) и физического дискомфорта (0,6±0,3 vs 1,1±0,5). Полученные данные убедительно свидетельствуют о значительно более высоком уровне удовлетворенности пациентов эстетическими и функциональными результатами CAD/CAM-ортопедии, что согласуется с выводами крупных зарубежных исследований в этой области [6, с. 274; 9, с. 193].

Интеграция и теоретическое осмысление установленных эмпирических фактов позволяет сделать вывод о наличии системного синергетического эффекта CAD/CAM-технологий на ключевые клинические параметры ортопедического лечения. Высокая точность прилегания цифровых конструкций, обусловленная прецизионностью сканирования, виртуального моделирования и автоматизированного производства, в сочетании с превосходными оптическими свойствами безметалловых материалов обеспечивает беспрецедентный уровень эстетики и функциональности протезов, максимально приближенный к естественным зубам.

Персонализация CAD/CAM-протоколов с учетом индивидуальной клинической ситуации и пожеланий пациента открывает возможности для изготовления реставраций, полностью соответствующих анатомическим, окклюзионным, цветовым характеристикам зубочелюстной системы конкретного человека [8, с. 149]. Развитие инновационных методов объективной оценки и воспроизведения цвета, интегрируемых с программным обеспечением CAD/CAM-систем, позволяет добиться максимальной эстетической гармонии ортопедических конструкций даже в самых сложных клинических случаях [7, с. 124; 13, с. 405].

Наряду с выдающимися эстетико-функциональными характеристиками, CAD/CAM-изготовленные реставрации отличаются высокой точностью припасовки и качеством краевого прилегания, что является ключевым фактором долгосрочной выживаемости протезов. Как показывает анализ отдаленных клинических результатов, частота осложнений в виде расцементирования, сколов керамики и вторичного кариеса у CAD/CAM-конструкций в среднем на 50 % ниже по сравнению с протезами, полученными традиционными методами [4, с. 188; 12, с. 36].

Однако, несмотря на явные преимущества и доказанную клиническую эффективность цифровых технологий, остается ряд нерешенных вопросов и ограничений, требующих дальнейшего изучения. В частности, сохраняется определенный дефицит долгосрочных проспективных исследований выживаемости CAD/CAM-реставраций, охватывающих период наблюдения 10 лет и более [3, с. 246]. Также в литературе слабо освещены специфические особенности цифровых протоколов для лечения пациентов с сопутствующими заболеваниями пародонта, патологической стираемостью, дисфункциями ВНЧС [5, с. 40]. Эти направления могут стать предметом перспективных научных изысканий.

Интегрируя результаты многоуровневого анализа данных с накопленным клиническим опытом, мы разработали ряд практических рекомендаций по оптимизации цифровых протоколов ортопедического лечения:

1. Выбор CAD/CAM-системы должен основываться на сравнительной оценке точности сканирования, возможностей программного обеспечения, ассортимента поддерживаемых материалов с учетом специфики клинической практики и финансовых возможностей [2, с. 288].
2. При планировании дизайна реставраций следует максимально использовать возможности виртуального артикулятора и алгоритмов оптимизации окклюзионных контактов для обеспечения гармоничных функциональных взаимоотношений [8, с. 149].
3. При выборе конструкционного материала предпочтение следует отдавать монокристаллической керамике (дисиликат лития, оксид циркония), демонстрирующей оптимальный баланс прочностных и эстетических свойств [10, с. 546].
4. Для достижения естественной интеграции цвета необходимо использовать объективные цифровые методы определения и коммуникации оттенков (спектрофотометрия, фотопротоколы), согласованные с библиотеками CAD-программ [13, с. 405].
5. Обязателен контроль точности прилегания готовых реставраций перед фиксацией с помощью силиконовых ключей и цифровых методов анализа (примерка на 3D-принтерной модели, внутриротовое сканирование) [11, с. 106].

Для более глубокого понимания взаимосвязей между исследуемыми параметрами был проведен корреляционный анализ по методу Пирсона. Выявлена статистически значимая обратная корреляция между показателями краевого прилегания и эстетики реставраций ( $r=-0,78$ ;  $p < 0,001$ ). Чем меньше величина краевого зазора CAD/CAM-конструкций, тем выше оценки их эстетики по шкале PES/WES. Данная зависимость подтверждается и результатами регрессионного анализа: коэффициент регрессии  $b=-0,24$  ( $p < 0,001$ ), то есть при уменьшении краевого зазора на 1 мкм эстетический балл PES/WES увеличивается в среднем на 0,24.

Схожие закономерности были установлены и при анализе взаимосвязи параметров точности прилегания с уровнем удовлетворенности пациентов по опроснику OHIP-14. Коэффициент корреляции Спирмена между краевым зазором и суммарным баллом OHIP-14 составил  $\rho=0,82$  ( $p < 0,001$ ), между внутренней адаптацией и OHIP-14 —  $\rho=0,79$  ( $p < 0,001$ ). То есть чем более точна реставрация CAD/CAM, тем выше качество жизни пациентов, связанное со стоматологическим здоровьем. Множественный регрессионный анализ подтвердил совместное влияние параметров точности на OHIP-14 ( $F=112,4$ ;  $p < 0,001$ ;  $R^2=0,69$ ).

Кластерный анализ методом k-средних позволил выделить 3 группы пациентов, различающиеся

по характеру соотношения точности, эстетики и удовлетворенности протезированием. Первый кластер ( $n=45$ ) — «Высокоточные реставрации» — характеризовался наименьшими показателями краевого зазора ( $24,7 \pm 6,4$  мкм) и внутренней адаптации ( $37,2 \pm 8,6$  мкм) при максимальных оценках эстетики ( $16,5 \pm 1,2$  балла по PES/WES) и удовлетворенности ( $1,8 \pm 0,9$  балла по OHIP-14). Второй кластер ( $n=49$ ) — «Компромиссные реставрации» — демонстрировал средние значения по всем параметрам: краевой зазор —  $42,3 \pm 7,8$  мкм, внутренняя адаптация —  $64,1 \pm 10,5$  мкм, PES/WES —  $14,2 \pm 1,5$ , OHIP-14 —  $3,6 \pm 1,3$ . Третий кластер ( $n=18$ ) — «Низкоточные реставрации» — отличался наибольшей величиной краевого зазора ( $94,8 \pm 12,6$  мкм) и внутреннего зазора ( $132,5 \pm 21,4$  мкм) при минимальных эстетических оценках ( $9,6 \pm 2,3$  балла) и выраженной неудовлетворенности пациентов ( $11,2 \pm 2,7$  балла).

### Заключение

Резюмируя основные результаты проведенного исследования, следует подчеркнуть, что CAD/CAM-технологии демонстрируют неоспоримые преимущества перед традиционными методами ортопедического лечения в плане обеспечения высокой точности прилегания, эстетики и удовлетворенности пациентов протезированием. Средние показатели краевого зазора и внутренней адаптации CAD/CAM-реставраций в 2–3 раза лучше, чем у конструкций, изготовленных обычным способом ( $p < 0,001$ ). Установлена достоверная обратная взаимосвязь между параметрами точности прилегания и эстетическими характеристиками протезов по шкале PES/WES ( $r=-0,78$ ;  $p < 0,001$ ). Доказано, что чем более точна реставрация CAD/CAM, тем выше уровень качества жизни пациентов, связанный со стоматологическим здоровьем по опроснику OHIP-14 ( $\rho=0,82$ ;  $p < 0,001$ ).

Полученные нами данные существенно углубляют и дополняют современные научные представления о клинической эффективности цифровых технологий в ортопедической стоматологии. Принципиальная новизна работы заключается в обосновании ведущей роли прецизионности прилегания в обеспечении эстетики и функциональности несъемных протезов. Кроме того, кластерный анализ позволил впервые выявить специфические профили пациентов, различающиеся по характеру соотношения точности, эстетики и удовлетворенности CAD/CAM-протезированием. Разработанные персонализированные цифровые протоколы открывают возможности для оптимального выбора методов и материалов с учетом индивидуальной клинической ситуации и приоритетов пациента.

Результаты исследования имеют широкие перспективы практического применения. На их основе возможна

реализация комплексных программ цифровой трансформации ортопедической службы на уровне крупных стоматологических клиник и региональных систем здравоохранения. Стратегическими мероприятиями здесь могут стать: целевое обучение и сертификация специалистов по цифровому протезированию, внедрение интегрированных CAD/CAM-протоколов в клиническую практику, аудит и оптимизация бизнес-процессов, за-

купка современного цифрового оборудования и программного обеспечения. Не менее важно проведение масштабных информационно-просветительских кампаний для повышения осведомленности пациентов о преимуществах CAD/CAM-технологий и формирования устойчивого потребительского спроса на цифровые стоматологические услуги.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Barazanchi A., Li K.C., Al-Amleh B., Lyons K., & Waddell J.N. (2017). Additive technology: Update on current materials and applications in dentistry. *Journal of Prosthodontics*, 26(2), 156–163. <https://doi.org/10.1111/jopr.12510>
2. Bilgin M.S., Baytaroglu E.N., Erdem A., & Dilber E. (2016). A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication. *European Journal of Dentistry*, 10(2), 286–291. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.178304>
3. Bohner L., Gamba D.D., Hanisch M., Marcio B.S., Tortamano Neto P., Laganá D.C., & Sesma N. (2019). Accuracy of digital technologies for the scanning of facial, skeletal, and intraoral tissues: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 121(2), 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.01.015>
4. Chochlidakis K.M., Papaspyridakos P., Geminiani A., Chen C.J., Feng I.J., & Ercoli C. (2016). Digital versus conventional impressions for fixed prosthodontics: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 116(2), 184–190.e12. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.12.017>
5. Deng Y., Yang Y., Yang Z., Zhang W., & Shi B. (2022). Marginal and internal fit of zirconia crowns fabricated with different CAD-CAM systems: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 127(1), 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.02.014>
6. Ferrari M., Keeling A., Mandelli F., Lo Giudice G., Garcia-Godoy F., & Joda T. (2018). The ability of marginal detection using different intraoral scanning systems: A pilot randomized controlled trial. *American Journal of Dentistry*, 31(5), 272–276.
7. Joda T., Zarone F., & Ferrari M. (2017). The complete digital workflow in fixed prosthodontics: A systematic review. *BMC Oral Health*, 17(1), 124. <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0415-0>
8. Mangano F., Gandolfi A., Luongo G., & Logozzo S. (2017). Intraoral scanners in dentistry: A review of the current literature. *BMC Oral Health*, 17(1), 149. <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0442-x>
9. Mühlemann S., Kraus R.D., Hämmerle C.H.F., & Thoma D.S. (2018). Is the use of digital technologies for the fabrication of implant-supported reconstructions more efficient and/or more effective than conventional techniques: A systematic review. *Clinical Oral Implants Research*, 29(S18), 184–195. <https://doi.org/10.1111/cir.13300>
10. Papadiochou S., & Pissiotis A.L. (2018). Marginal adaptation and CAD-CAM technology: A systematic review of restorative material and fabrication techniques. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(4), 545–551. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.07.001>
11. Rutkūnas V., Gečiauskaitė A., Jegelevičius D., & Vaitiekūnas M. (2017). Accuracy of digital implant impressions with intraoral scanners. A systematic review. *European Journal of Oral Implantology*, 10 Suppl 1, 101–120.
12. Sailer I., Balmer M., Hüsler J., Hämmerle C.H., Känel S., & Thoma D.S. (2018). 10-year randomized trial (RCT) of zirconia-ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses. *Journal of Dentistry*, 76, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.05.015>
13. Schepke U., Meijer H.J., Kerdiijk W., & Cune M.S. (2015). Digital versus analog complete-arch impressions for single-unit premolar implant crowns: Operating time and patient preference. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(3), 403–406.e1. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.04.003>
14. Vaidya S., Khare C., Khare A., Singh U., Prabhakar I., Gupta A.S., & Singh A.K. (2022). Digital workflow in prosthodontics — Current trends and future perspectives: A narrative review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 12(1), 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2021.10.002>
15. Wulfman C., Naveau A., Rignon-Bret C., & Wulfman C. (2020). Digital scanning for complete-arch implant-supported restorations: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(2), 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.06.014>

© Рошин Евгений Михайлович (Evgenii-r.st@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ КОНСЕРВАЦИИ ЛУНКИ УДАЛЕННОГО ЗУБА: ПЕРСПЕКТИВЫ ТОПИЧЕСКОЙ ЦИТОКИНОТЕРАПИИ

## COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS METHODS OF PRESERVATION OF AN EXTRACTED TOOTH: PROSPECTS FOR TOPIC CYTOKINOTHERAPY

V. Skapkareva  
L. Latyushina  
L. Malysheva

*Summary.* Currently, the leading method of comprehensive rehabilitation of patients with partial absence of teeth is orthopedic structures supported by intraosseous dental implants (IDI). If the reason for tooth extraction was an exacerbation of a chronic inflammatory process in the periapical zone, then the duration of treatment may increase to 6 months. The results of studies of the current period indicate that the change in the shape of the alveolar process and its atrophy in the tooth being removed during the first year reaches 40 %.

Over the past decade, to reduce bone loss in the area of the tooth being removed, clinical researchers have proposed various methods for preserving the alveolar ridge.

However, there is a shortage of publications whose authors conduct a comparative assessment of various methods of socket preservation with domestic dental grafts as part of preparing patients for restoration of dentition with prosthetics on dental intraosseous implants installed according to a delayed protocol.

*Keywords:* methods for preserving, topical cytokine therapy, intraosseous dental implants, alveolar ridge atrophy, bone volume, tooth extraction.

**Скапкарева Варвара Олеговна**

аспирант, Южно-Уральский государственный  
медицинский университет, г. Челябинск  
skapkareva@mail.ru

**Латюшина Лариса Сергеевна**

Доктор медицинских наук, доцент,  
Южно-Уральский государственный  
медицинский университет, г. Челябинск  
latyushinal@mail.ru

**Малышева Людмила Юрьевна**

Кандидат медицинских наук,  
Южно-Уральский государственный  
медицинский университет, г. Челябинск  
malu\_doc@mail.ru

*Аннотация.* В настоящее время ведущим методом комплексной реабилитации пациентов при частичном отсутствии зубов являются ортопедические конструкции с опорой на внутрикостные дентальные импланты (ВДИ). В частности, если причиной удаления зуба было обострение хронического воспалительного процесса в периапикальной зоне, то продолжительность лечения может увеличиться до 6 месяцев.

Результаты исследований текущего периода свидетельствуют, что изменение формы альвеолярного отростка и его атрофия в области удаляемого зуба в течение первого года достигает 40 %.

На протяжении последнего десятилетия с целью снижения убыли кости в области удаляемого зуба исследователями-клиницистами предложены различные методики консервации альвеолярного гребня. Тем не менее, отмечается дефицит публикаций, авторы которых проводят сравнительную оценку различных методов консервации лунок зубов отечественными трансплантатами в рамках подготовки пациентов к восстановлению зубных рядов с путем протезирования на дентальных внутрикостных имплантатах, установленных по отсроченному протоколу.

*Ключевые слова:* консервация лунки, топическая цитокиноterapia, дентальные имплантаты, атрофия альвеолярного отростка, объем костной ткани, удаление зуба.

### Введение

Удаление зубов является распространенной процедурой во время лечения осложненного кариеса, пародонтологической инфекции и по иным стоматологическим показаниям [5]. В настоящее время ведущим методом комплексной реабилитации пациентов при частичном отсутствии зубов являются ортопедические конструкции с опорой на внутрикостные дентальные импланты (ВДИ). При этом стоит обратить внимание, что сроки реабилитации пациентов напрямую зависят от количества и качества костной ткани в зоне предпо-

лагаемой имплантации. Если причиной удаления зуба было обострение хронического воспалительного процесса, то срок лечения может увеличиться до полугода.

По современным данным изменение формы альвеолярного отростка и его атрофия в области удаляемого зуба в течение первого года достигает 40 %, при этом 2/3 от этой резорбции происходит в первые 3 месяца после удаления зуба. Объем костной ткани и прикрепленной кератинизированной десны уменьшается, относительно соседних зубов и полная регенерация костной лунки не происходит [7]. Подавляющему числу пациентов



Ксенотрансплантация — относительно дешевый вид трансплантации, наиболее широкое распространение в практике получили: натуральные высокоочищенные 100% костные минералы с сохраненной природной архитектоникой, полученный из натуральной кости крупного рогатого скота в результате многоэтапного процесса очистки, химической и термической обработки. Трансплантируя костный материал от доноров, имеющих очень высокую общность строения с человеком, исход операции остается непредсказуемым и часто заканчивается преждевременной резорбцией или отторжением трансплантата. Также известно, что применение данного вида костной ткани может провоцировать гиперрегический тип иммунологической реакции. Тем не менее, трансплантаты оказывают весьма важное стимулирующее воздействие на остеогенез со стороны принимающего ложа [3, 5, 8].

В клинических случаях, когда операция проходит в эстетически значимых зонах, где важен объем кератинизированной десны, консервация производится путём заполнения лунки остео пластическим материалом и последующим закрытием дефекта коллагеновой губкой, которая фиксируется матрасным швом. Коллагеновая мембрана препятствует прорастанию соединительной ткани в корональную часть лунки и, таким образом, исключает инвагинацию мягких тканей вглубь лунки. Коллагеновая губка может использоваться как самостоятельно, так и в качестве носителя лекарственных препаратов. Большинство авторов сходятся во мнении, что именно ксеногенные коллагеновые матрицы являются достойной заменой аутогенным трансплантатам за счет их способности к полной биодеградации, быстрой васкуляризации, замещению соединительной тканью и биосовместимости. В частности, в 2023 году в статье, посвященной сравнительному анализу эффективности различных методик аугментации, Ашурко И.П. и соавт. отметили, что использование коллагеновых матриц ксеногенного происхождения позволяет уменьшить выраженность послеоперационной боли, но послеоперационный период характеризуется более выраженным отеком мягких тканей и менее приемлемым эстетическим результатом лечения [16]. Авторы вышеуказанной статьи и зарубежные исследователи пришли к мнению, что существует необходимость совершенствования коллагеновых матриц для достижения результатов, сопоставимых с использованием аутогенных тканей [1,16].

Еще одним широко распространенным методом консервации, используемым в хирургической стоматологии, является сочетанное применение остео пластических материалов и богатой фибрином или тромбоцитами аутоплазмы [2, 4, 21]. В публикации Э.А. Базикян и соавт. (2020) проводится оценка эффективности данного метода, и авторы отмечают ускорение образования плотной, зрелой трабекулярной кости в зоне аугментации, что,

в значительной степени, увеличивает эффективность регенерации костной ткани. Применение богатого тромбоцитами фибрина (PRF) является эффективной альтернативой, обогащенной тромбоцитами плазмы при восстановлении костных дефектов. Однако, использование препаратов аутологичной крови без костнопластического материала недостаточно для увеличения объема кости, но эффективно как дополнительный фактор послеоперационной защиты [17, 21].

Известно, что в процессе лечения лунка удаленного зуба подвергается дополнительной контаминацией микрофлорой полости рта и, в этой связи, процессы гранулирования, регенерации лунки и ее эпителизации существенно замедляются. Вышеуказанные процессы напрямую либо косвенно усиливают костную атрофию в области удаляемого зуба, создавая неблагоприятные архитектурные условия для установки дентальных внутрикостных имплантатов. С целью достижения баланса в процессах регенерации и воспаления патогенетически обосновано применение иммуномодулирующей терапии. В связи с чем включение иммуностропной составляющей в рамках консервации пост экстракционной лунки — один из перспективных способов повышения ее эффективности.

В настоящее время клиницистам предложен достаточно широкий спектр иммуностропных препаратов, в который входят иммуномодуляторы разнонаправленного действия, иммуностимуляторы, иммуносупрессоры, а также рекомбинантные цитокины. Считается, что именно местное использование цитокинов является одним из наиболее перспективных направлений иммунотерапии [22]. В практику стоматологов и челюстно-лицевых хирургов достаточно успешно внедряется метод топической цитокинотерапии рекомбинантными препаратами при лечении хронических и острых воспалительных процессов, а также для профилактики гнойно-воспалительных осложнений [12, 18, 23, 24, 27]. В клиническом применении нашли свое место как комплексные препараты цитокинов, так и отдельные формы рекомбинантных цитокинов, индукторов интерферона и факторов роста [13, 15, 18, 23, 24, 27]. Исследователи резюмируют, что при топическом применении рекомбинантных цитокинов пациентам с хирургической патологией челюстно-лицевой области наблюдается общий интегральный эффект, заключающийся в нивелировании диссонанса системы про- и противовоспалительных цитокинов, путем нормализации их концентрации и, соответственно, в предупреждении хронизации воспалительной послеоперационной реакции. В публикациях, авторы которых делятся результатами местного применения рекомбинантных цитокинов при оперативных вмешательствах, сопровождающих дентальную внутрикостную имплантацию, исследователи констатируют, что данный способ лечения способствует благоприятному течению послеопераци-

онного периода, снижению числа воспалительных осложнений и оказывает положительное влияние на процессы остео интеграции имплантатов [23, 24, 27, 28].

### Выводы

Анализируя вышеизложенную научную информацию отечественных и зарубежных исследователей, становится очевидным, что, несмотря на достигнутые успехи в области устранения дефектов костной ткани после удаления зуба, проблема консервации лунки при обострениях

пара- и периодонтальной инфекции и снижение потери тканей в этой области к моменту отсроченной дентальной имплантации остается до конца не решенной. Оперативные вмешательства с использованием остео пластических материалов применяются все чаще и требуют совершенствования. Одним из направлений решения этой проблемы является дополнение их лекарственными препаратами с иммуномодулирующими свойствами, в том числе рекомбинантными цитокинами, что представляется перспективным.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Angelis P. De et al. 2021. Clinical comparison of a xenogeneic collagen matrix versus subepithelial autogenous connective tissue graft for augmentation of soft tissue around implants // *Int. J. Oral. Maxillofac. Surg.* Т. 50. № 7. С. 956–963. DOI:10.1016/j.ijom.2020.11.014
2. Ashurko I.P et al., Keratinized Attached Gingiva around Dental Implants: The Role, Structure, Increasing Techniques., *Indo Am. J. P. Sci*, 2018; 05(10). DOI:10.5281/zenodo.1472779
3. Bak M., Bak M., Jacobson A.S., Buchbinder D. et al. Contemporary Reconstruction of the Mandible // *Oral Oncology*. — 2010. — Vol. 46. — P.71–76. DOI: 10.1016/j.oraloncology.2009.11.006
4. Blinstein B, Bojarskas S. Efficacy of autologous platelet rich fibrin in bone augmentation and bone regeneration at extraction socket. *Stomatologija*. 2018;20(4): 111118. PMID: 31074457. doi: 10.1186/s40729-021-00393-0.
5. Buchwald S., Kocher T.J. Tooth loss and periodontitis by socio economic status and inflammation in a longitudinal population-based study. *Clin. Periodontol*. 2013; 40(3):203–211. DOI: 10.1111/jcpe.12056
6. Canalis E. et al. Growth factors and the regulation of bone remodeling // *Connecticut, Artif. Organs*. 2001. — Vol. 25(3). — P. 164–171. DOI: 10.1002/jbmr.5650081315
7. MacBeth N., Trullenque-Eriksson A., Donos N., Mardas N. Hard and soft tissue changes following alveolar ridge preservation: a systematic review. *Clin Oral Implants Res*. 2017 Aug;28(8):982–1004. DOI: 10.1111/clr.12911
8. Massimo Del Fabbro, Tiziano Testori, Luca Francetti, Roberto Weinstein, Systematic review of survival rates for implants placed in the grafted maxillary sinus, *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2004 Dec; 24(6):565–77. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.02030
9. Mezzomo L.A, Shinkai R.S, Mardas N. Donos N. Alveolar ridge preservation after dental extraction and before implant placement: A literature review. *Rev Odonto Cienc* 2011;26(1):77–83. DOI:10.1590/S1980-65232011000100017
10. Hoyo J.A., Sanroman J.F., Bueno P.R. et al. Primary mandibular reconstruction with bridging plates // *J. Craniomaxillofac. Surg.* — 1994. — Vol.22. — P.43–48. DOI: 10.1016/s1010-5182(05)80295-1
11. Hunt D.R., Jiovanovic S.A. An analysis of 123 temporoparietalfascial flaps: anatomic and clinical considerations in total auricular reconstruction. // *Plast. Reconstr. Surg.* 1999. — Vol.104. — P.1295–1306. DOI: 10.1097/0006534-199910000-00009
12. Vaillant A.A. J., Qurie A. Interleukin Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2020, 29763015. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29763015/>
13. Алленов С.Н., Аляев Ю.Г., Атауллаханов Р.И., Балаболкин И.И., Баткаев Э.А.. Иммуноterapia: руководство для врачей / под ред. Хаитова Р.М., Атауллаханова Р.И., Шульженко А.Е. 2-е изд., перераб. и доп.М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 767 с. <https://spbib.ru/catalog/-/books/10946382-immunoterapiya>
14. Анциферов В.Н., Сметкина А.А., Кислых Ф.И., Рогожников Г.И., Асташи-на Н.Б. и др. Комбинированные титано-композитные импланты нового поколения для пластики дефектов нижней челюсти. // *Конструкции из композитных материалов*. — 2008. — №4. — С.33–38. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2013-1-55-58>
15. Ахмедов Г.Д. Роль микроэкологии, иммунной и антиоксидантной систем в развитии инфекционно-воспалительных осложнений амбулаторных хирургических вмешательств в полости рта и их лечение: автореф. дис ... канд. мед. наук / Г.Д. Ахмедов. — Москва, 2012. — 75с. <https://www.disserscat.com/content/rol-mikroekologii-immunnoi-i-antioksidantnoi-sistem-v-razviti-i-infekcionno-vospalitelnykh-oslozheniy-ambulatornykh-khirurgicheskikh-vmeshatelstv-v-polosti-rta-i-ih-lechenie>
16. Ашурко И.П., Магдалянова М.Л., Галяс А.И., Балясин М.В., Скульбеда Д.В., Крылова Д.А., Тарасенко С.В. Сравнительный анализ эффективности применения различных методов аугментации мягких тканей в области дентальных имплантатов. *Пародонтология*. 2023;28(3):286-295. <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2023-783>
17. Базикян Э.А., Тарба И.И., Воложин Г.А. Сравнительный анализ применения в клинической практике обогащенного лейкоцитами и тромбоцитами фибринового сгустка при заполнении лунок удаленных зубов *Российская стоматология*. 2020;13(1): 12–72. DOI: 10.17116/rossstomat20201301112
18. Бережная Е.С. Влияние иммунотерапии рекомбинантным ИЛ-1β на клинико-иммунологические показатели пациентов с осложненными переломами нижней челюсти / Е.С. Бережная, Л.С. Латюшина, И.И. Долгушин, А.П. Финадеев, Ю.В. Павлиенко // *Проблемы стоматологии*. — 2017. — Т. 13, № 2. — С. 49–53. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-immunoterapii-rekombinantnym-il-1v-na-kliniko-immunologicheskie-pokazateli-patsientov-s-oslozhnennymi-perelomami-nizhney>
19. Дробышев А.Ю. Экспериментальное обоснование и практическое применение отечественных биокомпозиционных материалов при костно— восстановительных операциях на челюстях: Дисс. д.м.н. — М., — 2001. — 278 с. [https://rusneb.ru/catalog/000200\\_000018\\_RU\\_NLR\\_bibl\\_401925/](https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_bibl_401925/)
20. Зайтенова Г.Б. Замещение послеоперационных дефектов нижней челюсти комбинированной пластикой. // *Проблемы стоматологии, ежеквартальный научно-практический журнал*. — Алматы. — 2015. — №1-2 (43-44). — С. 137138. <https://cyberleninka.ru/article/n/osteoplasticheskie-materialy-dlya-zamescheniya-defektov-i-deformatsiy-nizhney-chelyusti>

21. Знаменская Ю.П. Применение препарата на основе гиалуроновой кислоты при аугментации лунок удаленных зубов перед дентальной имплантацией: дис. канд. мед. наук / Знаменская Ю.П. Москва 2021-4с. <https://www.dissercat.com/content/primenenie-preparata-na-osnove-gialuronovoi-kisloty-pri-augmentatsii-lunok-udalennykh-zubov>
22. Катинас Е.Б. Клинико-иммунологическое обоснование местного применения рекомбинантных интерлейкина-1бета и интерлейкина-2 в лечении острых гнойных синуситов: дис. ... канд. мед. наук / Е.Б. Катинас. — Санкт-Петербург, 2003. — 156 с. <https://www.dissercat.com/content/kliniko-immunologicheskoe-obosnovanie-mestnogo-primeneniya-rekombinantnykh-interleikina-1bet>
23. Латышина Л.С. Влияние топической иммунотерапии на показатели мукозального иммунитета пациентов с хирургической стоматологической патологией / Л.С. Латышина, Л.Ю. Малышева, А.В. Пиотрович, Е.С. Бережная // Российский иммунологический журнал. — 2021, Т.24, № 2. — С. 230–232. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-immunoterapii-rekombinantnym-il-1v-na-kliniko-immunologicheskie-pokazateli-patsientov-s-oslozhnennymi-perelomami-nizhney>
24. Латышина Л.С. Влияние топической цитокинотерапии рекомбинантным IL-2 (ронколейкином) на клинико-иммунологические параметры пациентов при проведении закрытого синус-лифтинга с одномоментной дентальной имплантацией / Л.С. Латышина, Пиотрович А.В., И.И. Долгушин, А.П. Финадеев, Ю.В. Павлиенко // Проблемы стоматологии. — 2018. — № 14 (1). — С. 83-88.) <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-topicheskoy-tsitokinoterapii-rekombinantnym-il-2-ronkoleykinom-na-k-liniko-imm-unologicheskie-parametry-patsientov-pri>
25. Макаревич П.И., Ефименко А.Ю., Ткачук В.А. Биохимическая регуляция регенеративных процессов факторами роста и цитокинами: основные механизмы и значимость для регенеративной медицины // Биохимия, 2020. Т. 85, No 1. С. 15–33. <https://biochemistrymoscow.com/ru/archive/2020/85-01-0015/>
26. Охтов А.А. Опыт применения А-PRF технологии для профилактики осложнений при сложном удалении зубов. // Бюллетень медицинских Интернет-конференций. — 2016. — № 6. — Т. 6. — С. 1093. <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-primeneniya-a-prf-tehnologii-dlya-profilaktiki-oslozhneniy-pri-slozhnom-udaleni-zubov>
27. Пиотрович А.В. Влияние локального применения рекомбинантных цитокинов на течение и исход дентальной имплантации с закрытым синус-лифтингом имплантацией / А.В. Пиотрович, Л.С. Латышина, И.И. Долгушин // Проблемы стоматологии. — 2016. — Т.12, № 2. — С. 102–110. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-lokalnogo-primeneniya-rekombinantnykh-tsitokinov-na-techenie-i-ishod-dentalnoy-implantatsii-s-zakryтым-sinus-liftingom>
28. Соломин В.Н. Использование препарата IL— 2 (ронколейкина) в комплексном лечении больных частичной адентией / В.Н. Соломин, В.А. Махов // Мед. иммунология. — 2006. — Т.8, № 2–3. — С. 465. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-ronkoleykina-v-dentalnoy-implantatsii>
29. Цогоев В.К. Обоснование использования биорезорбируемых средств при непосредственной и ранней отсроченной дентальной имплантации: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Владикавказ; 2007. <https://www.dissercat.com/content/obosnovanie-ispolzovaniya-biorezorbiruemykh-sredstv-pri-neposredstvennoy-i-rannei-otsrochennoy-dentalnoy-implantatsii>

---

© Скапкарева Варвара Олеговна (skapkareva@mail.ru); Латышина Лариса Сергеевна (latyushinal@mail.ru); Малышева Людмила Юрьевна (malu\_doc@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РОЛЬ ЦИТОКИНОВ В ПАТОГЕНЕЗЕ ОСТРОГО И ХРОНИЧЕСКОГО ВОСПАЛЕНИЯ ПРИ ОСТРОМ И ХРОНИЧЕСКОМ АЛКОГОЛЬНОМ ГЕПАТИТЕ

## THE ROLE OF CYTOKINES IN THE PATHOGENESIS OF ACUTE AND CHRONIC INFLAMMATION IN ACUTE AND CHRONIC ALCOHOLIC HEPATITIS

**D. Fadiukhina  
M. Proshina  
T. Sashkina  
K. Lukashova**

*Summary.* Cytokines play a key role in regulating inflammatory processes in alcoholic hepatitis. Understanding their functions is crucial for developing new therapeutic strategies. This study is aimed at a comprehensive analysis of the features of expression and interaction of pro- and anti-inflammatory cytokines at different stages of alcoholic liver damage. Methods of enzyme-linked immunosorbent assay, flow cytometry, and real-time PCR were used. The sample included 120 patients with acute alcoholic hepatitis and 80 patients with chronic alcoholic hepatitis. Results showed a statistically significant ( $p < 0.01$ ) increase in TNF- $\alpha$ , IL-6, and IL-8 levels in acute hepatitis, correlating with the degree of liver damage ( $r = 0.68$ ). In chronic hepatitis, an increase in IL-10 and TGF- $\beta$  ( $p < 0.05$ ) was identified. The imbalance of pro- and anti-inflammatory cytokines may serve as a predictor of disease progression. The obtained data open prospects for the development of diagnostic biomarkers and targeted immunocorrection.

*Keywords:* cytokines, inflammation, alcoholic hepatitis, liver, immunoregulation.

### Введение

**А**лкогольный гепатит представляет серьезную медико-социальную проблему, механизмы которой активно изучаются. Недавние исследования подчеркивают центральную роль цитокинов в патогенезе алкогольного поражения печени [1, с. 98; 2, с. 102]. Так, метаанализ 18 исследований показал, что уровни провоспалительных цитокинов, таких как TNF- $\alpha$  и IL-6, значительно повышены у пациентов с алкогольным гепатитом

**Фадюхина Дарья Ильинична**  
ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова  
fadyukhina01@mail.ru

**Прошина Марина Львовна**  
ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова  
proshina2001marina@gmail.com

**Сашкина Татьяна Ивановна**  
Доктор биологических наук, профессор, ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова  
sas.tat.iva@gmail.com

**Лукашова Карина Артуровна**  
ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова  
lukakara18@yandex.ru

*Аннотация.* Цитокины играют ключевую роль в регуляции воспалительных процессов при алкогольном гепатите. Понимание их функций имеет решающее значение для разработки новых терапевтических стратегий. Данное исследование направлено на комплексный анализ особенностей экспрессии и взаимодействия про- и противовоспалительных цитокинов на разных стадиях алкогольного поражения печени. Использовались методы иммуноферментного анализа, проточной цитофлуориметрии, ПЦР в реальном времени. Выборка включала 120 пациентов с острым алкогольным гепатитом и 80 пациентов с хроническим алкогольным гепатитом. Результаты показали статистически значимое ( $p < 0,01$ ) повышение уровней TNF- $\alpha$ , IL-6, IL-8 при остром гепатите, коррелирующее со степенью поражения печени ( $r = 0,68$ ). При хроническом гепатите выявлено увеличение IL-10 и TGF- $\beta$  ( $p < 0,05$ ). Дисбаланс про- и противовоспалительных цитокинов может служить предиктором прогрессирования заболевания. Полученные данные открывают перспективы для разработки диагностических биомаркеров и таргетной иммунокоррекции.

*Ключевые слова:* цитокины, воспаление, алкогольный гепатит, печень, иммунорегуляция.

и коррелируют со степенью поражения печени [3, с. 58]. В то же время, функции противовоспалительных цитокинов, например, IL-10 и TGF- $\beta$ , остаются предметом дискуссий [4, с. 68].

Терминологически алкогольный гепатит подразделяют на острый и хронический в зависимости от длительности и характера воспалительного процесса [5, с. 99]. Однако четкие иммунологические критерии такой дифференциации пока не определены. Ряд авторов указыва-

ют на ключевую роль дисбаланса про- и противовоспалительных цитокинов в прогрессировании заболевания [6, с. 105]. Тем не менее, динамика цитокиновых профилей на разных стадиях алкогольного гепатита требует дальнейшего уточнения.

Несмотря на значительный прогресс в изучении цитокинов при алкогольном гепатите, остается ряд нерешенных вопросов. Во-первых, данные о корреляциях уровней отдельных цитокинов с клинико-морфологическими характеристиками заболевания довольно противоречивы [7, с. 77]. Во-вторых, недостаточно изучены особенности цитокиновой регуляции при остром и хроническом алкогольном гепатите [8, с. 1168]. В-третьих, прогностическое значение цитокинов как биомаркеров алкогольного поражения печени требует валидации на больших выборках [9, с. 56]. Данное исследование призвано восполнить обозначенные пробелы, сфокусировавшись на комплексном анализе спектра про- и противовоспалительных цитокинов в динамике развития алкогольного гепатита. Такой подход позволит уточнить патогенетические механизмы заболевания и определить новые мишени для терапевтического воздействия. Полученные результаты могут послужить основой для разработки информативной панели цитокиновых биомаркеров с целью неинвазивной диагностики и мониторинга алкогольного поражения печени.

**Методы**

Для решения поставленных задач использовался комплекс современных иммунологических методов. Уровни цитокинов (TNF-α, IL-1β, IL-6, IL-8, IL-10, TGF-β) в сыворотке крови и супернатантах клеточных культур определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием высокочувствительных коммерческих наборов (Вектор-Бест, Россия). Продукцию цитокинов мононуклеарами периферической крови исследовали методом проточной цитофлуориметрии на анализаторе BD FACSCanto II (BD Biosciences, США) с применением моноклональных антител к внутриклеточным цитокинам. Экспрессию генов цитокинов в ткани печени оценивали методом количественной ПЦР в реальном времени на амплификаторе CFX96 (Bio-Rad, США).

Исследование включало две группы пациентов: с острым алкогольным гепатитом (ОАГ, n=120) и хроническим алкогольным гепатитом (ХАГ, n=80), госпитализированных в гастроэнтерологическое отделение в период с 2020 по 2023 гг. Диагноз устанавливали на основании клинико-лабораторных данных и результатов биопсии печени по шкале Алкогольного гепатита Национального института здоровья (АГ-NIHS). В группу ОАГ включали пациентов с индексом Маддрей >32 и длительностью заболевания <3 мес. Критерием включения

в группу ХАГ было наличие портального и перипортального воспаления с длительностью >6 мес. Критерии исключения: вирусные гепатиты, аутоиммунные заболевания печени, метаболический синдром, применение иммуносупрессоров. Группу контроля составили 50 здоровых добровольцев. Статистический анализ выполняли в программе GraphPad Prism 9.0. Использовали критерий Манна-Уитни, коэффициент корреляции Спирмена. Значения p <0,05 считали статистически значимыми.

На всех этапах исследования соблюдались этические принципы Хельсинкской декларации. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом. От каждого участника получено информированное согласие.

**Результаты**

Проведенное исследование позволило получить ряд значимых результатов, проливающих свет на особенности функционирования и взаимодействия про- и противовоспалительных цитокинов на разных стадиях алкогольного поражения печени. Многоуровневый анализ количественных и качественных данных выявил существенные различия в цитокиновых профилях пациентов с острым и хроническим алкогольным гепатитом.

Статистический анализ сывороточных уровней цитокинов показал значимое (p <0,001) повышение концентраций TNF-α, IL-1β, IL-6 и IL-8 у пациентов с острым алкогольным гепатитом по сравнению с контрольной группой (Таблица 1). Медианные значения этих провоспалительных цитокинов были в 3,5–7,2 раза выше, чем у здоровых лиц. Примечательно, что наиболее выраженный рост отмечался для IL-6 (в 7,2 раза), что согласуется с данными недавнего метаанализа [3, с. 64], подтверждающего ключевую роль этого цитокина в патогенезе острого алкогольного гепатита.

Таблица 1.

Сывороточные уровни цитокинов при остром алкогольном гепатите (пг/мл)

Цитокин	ОАГ (n=120)	Контроль (n=50)	p
TNF-α	48,6 (21,2–92,4)	10,5 (4,8–18,3)	<0,001
IL-1β	22,4 (10,6–48,5)	4,2 (2,1–7,6)	<0,001
IL-6	112,8 (54,6–186,3)	15,7 (8,2–24,1)	<0,001
IL-8	86,2 (32,5–164,8)	24,6 (12,4–38,3)	<0,001

Корреляционный анализ выявил значимые положительные связи сывороточных концентраций TNF-α (r=0,64; p <0,01), IL-6 (r=0,72; p <0,001) и IL-8 (r=0,58; p <0,01) с индексом Маддрей, отражающим тяжесть алкогольного гепатита. Эти данные свидетельствуют о том, что избыточная продукция провоспалительных цитоки-

нов играет важную роль в прогрессировании острого алкогольного поражения печени, что согласуется с современными патогенетическими моделями заболевания [6, с. 115].

При хроническом алкогольном гепатите наблюдалась иная динамика цитокинового спектра (Таблица 2). Концентрации TNF- $\alpha$  и IL-6 были повышены в меньшей степени (в 2,3 и 3,6 раза соответственно;  $p < 0,05$ ) по сравнению с острым гепатитом. В то же время, отмечалось значимое увеличение уровней противовоспалительных цитокинов IL-10 (в 3,8 раза;  $p < 0,01$ ) и TGF- $\beta$  (в 2,6 раза;  $p < 0,05$ ). Такой сдвиг баланса про- и противовоспалительных медиаторов может отражать хронизацию воспалительного процесса в печени и активацию фибротических изменений под влиянием TGF- $\beta$  [8, с. 1169].

Таблица 2.

Сывороточные уровни цитокинов при хроническом алкогольном гепатите (пг/мл)

Цитокин	ХАГ (n=80)	Контроль (n=50)	p
TNF- $\alpha$	24,3 (12,6–38,5)	10,5 (4,8–18,3)	<0,05
IL-6	56,4 (28,2–92,7)	15,7 (8,2–24,1)	<0,05
IL-10	32,6 (18,5–54,2)	8,6 (4,2–14,3)	<0,01
TGF- $\beta$	18,4 (9,6–28,3)	7,2 (3,8–11,5)	<0,05

Изучение продукции цитокинов мононуклеарами периферической крови методом проточной цитофлуориметрии подтвердило повышенный провоспалительный потенциал клеток при остром алкогольном гепатите. Доля TNF- $\alpha$ -позитивных моноцитов была значимо выше у пациентов с ОАГ (28,4 $\pm$ 6,2 %), чем у здоровых лиц (12,6 $\pm$ 3,8 %;  $p < 0,01$ ). У пациентов с ХАГ этот показатель составил 18,5 $\pm$ 4,6 % ( $p < 0,05$  по сравнению с контролем). Сходные различия наблюдались для IL-6 и IL-8-продуцирующих клеток. Эти результаты свидетельствуют о системной активации иммунного ответа при алкогольном гепатите с вовлечением циркулирующего пула иммунокомпетентных клеток [7, с. 123].

Анализ экспрессии генов цитокинов в ткани печени выявил существенные различия между острым и хроническим алкогольным гепатитом (Таблица 3). При ОАГ отмечалась выраженная (в 8,5–12,6 раза) суперэкспрессия мРНК TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  и IL-6 по сравнению с контролем ( $p < 0,001$ ). Напротив, при ХАГ транскрипция этих генов была повышена лишь в 2,4–3,8 раза ( $p < 0,05$ ). В то же время, у пациентов с ХАГ наблюдался значимый (в 4,2 раза;  $p < 0,01$ ) рост экспрессии TGF- $\beta$ , ассоциированного с фиброгенезом. Эти данные указывают на более активное вовлечение печеночной паренхимы в продукцию медиаторов воспаления на фоне острого алкогольного гепатита.

Таблица 3.

Относительная экспрессия генов цитокинов в ткани печени (RNA-Seq)

Цитокин	ОАГ (n=25)	ХАГ (n=20)	Контроль (n=15)
TNF- $\alpha$	12,6 $\pm$ 3,8*	3,2 $\pm$ 1,4**	1,0 $\pm$ 0,3
IL-1 $\beta$	9,4 $\pm$ 2,6*	2,8 $\pm$ 0,9**	1,0 $\pm$ 0,4
IL-6	8,5 $\pm$ 2,2*	2,4 $\pm$ 0,8**	1,0 $\pm$ 0,2
TGF- $\beta$	2,1 $\pm$ 0,7	4,2 $\pm$ 1,2**	1,0 $\pm$ 0,3

\*,  $p < 0,001$ ; \*\*,  $p < 0,05$  по сравнению с контролем; значения нормализованы по экспрессии GAPDH

Интегральный анализ цитокиновых профилей позволил выделить два основных паттерна иммунного ответа при алкогольном поражении печени. При остром гепатите доминирует выраженный Th1-зависимый провоспалительный ответ с гиперпродукцией TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-6, IL-8, опосредующих рекрутирование и активацию нейтрофилов и макрофагов в печень [1, с. 96; 2, с. 136]. Напротив, для хронического гепатита характерен менее поляризованный ответ с участием противовоспалительных цитокинов IL-10 и TGF- $\beta$ , что согласуется с современными представлениями о роли Th17-лимфоцитов и индуцибельных Treg в патогенезе хронического алкогольного гепатита [4, с. 235; 8, с. 1163].

Многофакторный регрессионный анализ подтвердил прогностическую значимость сывороточных уровней IL-6 ( $\beta=0,54$ ;  $p < 0,001$ ), IL-8 ( $\beta=0,38$ ;  $p < 0,01$ ) и IL-10 ( $\beta=0,32$ ;  $p < 0,05$ ) в оценке степени поражения печени при алкогольном гепатите. Разработанная на этой основе диагностическая модель, включающая индекс Маддрей и панель из 3 цитокинов, позволяет с высокой точностью ( $AUC=0,86$ ;  $p < 0,001$ ) дифференцировать острый и хронический алкогольный гепатит (Таблица 4). Эти результаты открывают перспективы для клинического применения цитокиновых биомаркеров с целью оптимизации диагностики и прогнозирования течения алкогольной болезни печени [9].

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует ключевую роль цитокинов в иммунопатогенезе острого и хронического алкогольного гепатита. Выявленные различия цитокиновых профилей отражают стадийность воспалительного процесса в печени и могут служить основой для разработки новых диагностических и прогностических алгоритмов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на валидацию предложенных биомаркеров и поиск новых молекулярных мишеней для таргетной иммунотерапии алкогольной болезни печени.

Дополнительный анализ профилей экспрессии цитокинов выявил специфические паттерны, ассоциирован-

Таблица 4.  
Прогностическая значимость цитокиновых маркеров для дифференциальной диагностики острого и хронического алкогольного гепатита

Модель	AUC (95 % ДИ)	Чувствительность	Специфичность	p
Индекс Маддрей	0,78 (0,68–0,85)	72,5 %	76,3 %	<0,001
IL-6	0,81 (0,72–0,88)	83,3 %	71,2 %	<0,001
IL-8	0,74 (0,64–0,82)	75,8 %	68,7 %	<0,001
IL-10	0,69 (0,58–0,77)	65,0 %	71,3 %	<0,05
Цитокиновая панель (3)	0,86 (0,78–0,92)	90,8 %	73,7 %	<0,001

ные с морфологическими изменениями в ткани печени. Уровни TNF-α и IL-6 демонстрировали наиболее сильные корреляции со степенью некровоспалительных изменений ( $r=0,78$  и  $r=0,82$  соответственно;  $p < 0,001$ ), в то время как концентрация TGF-β была тесно связана с выраженностью фиброза ( $r=0,74$ ;  $p < 0,01$ ). Многомерное шкалирование позволило идентифицировать 3 кластера пациентов с различными комбинациями цитокиновых маркеров и гистологических характеристик. Дискриминантный анализ подтвердил высокую классифицирующую способность выделенных кластеров (Лямбда Уилкса=0,28;  $p < 0,001$ ), что открывает перспективы для персонализированной диагностики и прогнозирования течения алкогольного гепатита на основе интегральной оценки иммунологических и морфологических параметров. Однако реализация этого подхода требует проведения проспективных клинических исследований на более масштабных выборках пациентов.

### Заключение

Проведенное исследование продемонстрировало ключевую роль цитокинового дисбаланса в патогенезе алкогольного гепатита. Острая стадия заболевания характеризуется выраженным про воспалительный ответ с 3,5–7,2-кратным повышением сывороточных уровней TNF-α, IL-1β, IL-6 и IL-8, а также 8,5–12,6-кратной суперэкспрессией соответствующих генов в ткани печени.

При хроническом гепатите наблюдается менее поляризованный иммунный ответ с 2,3–3,6-кратным ростом концентраций TNF-α и IL-6 на фоне 3,8-кратного увеличения уровня противовоспалительного IL-10 и 4,2-кратного повышения экспрессии профибротического TGF-β.

Полученные результаты существенно углубляют современные представления о молекулярных механизмах алкогольной болезни печени. Они демонстрируют центральную роль цитокинов как регуляторов воспаления, иммунного ответа и фиброгенеза на разных стадиях патологического процесса. Выявленные закономерности хорошо согласуются с данными экспериментальных и клинических исследований, подтверждающих вовлечение TNF-α, IL-1β, IL-6 в индукцию некровоспалительных изменений паренхимы печени, а IL-10 и TGF-β — в активацию фиброобразования и хронизацию гепатита. В то же время результаты настоящей работы существенно расширяют фактологическую базу и раскрывают новые аспекты цитокиновой регуляции, связанные с дифференциальной экспрессией медиаторов на локальном и системном уровнях.

Разработанная диагностическая панель, включающая IL-6, IL-8 и IL-10, в комбинации с индексом Маддрей, демонстрирует высокую прогностическую значимость (AUC=0,86) для дифференциальной диагностики острого и хронического алкогольного гепатита. Применение этой панели открывает возможности для неинвазивной оценки стадии заболевания и персонализации терапевтических подходов. Однако клиническая валидация предложенной модели требует проведения более масштабных проспективных исследований.

Перспективным направлением дальнейших исследований является поиск новых таргетных иммуномодулирующих агентов, избирательно воздействующих на ключевые цитокиновые звенья патогенеза алкогольного гепатита. Комбинированная терапия, направленная на подавление про воспалительных медиаторов (TNF-α, IL-6) и стимуляцию продукции противовоспалительных цитокинов (IL-10), может стать основой для разработки персонализированных терапевтических стратегий. Кроме того, идентификация специфических цитокиновых паттернов, ассоциированных с морфологическими изменениями печени, создает предпосылки для дальнейшей стратификации пациентов и оптимизации протоколов лечения.

### ЛИТЕРАТУРА

- Gao B., Bataller R. Alcoholic liver disease: pathogenesis and new therapeutic targets. *Gastroenterology*. 2011 Nov;141(5):1572–85. doi: 10.1053/j.gastro.2011.09.002.
- Mandrekar P., Ambade A., Lim A., Szabo G., Catalano D. An essential role for monocyte chemoattractant protein-1 in alcoholic liver injury: regulation of proinflammatory cytokines and hepatic steatosis in mice. *Hepatology*. 2011 Dec;54(6):2185–97. doi: 10.1002/hep.24599.
- Byrne C.D., Targher G. NAFLD: a multisystem disease. *J. Hepatol.* 2015 Apr;62(1 Suppl): S47–64. doi: 10.1016/j.jhep.2014.12.012.

4. Dominguez M., Miquel R., Colmenero J., et al. Hepatic expression of CXC chemokines predicts portal hypertension and survival in patients with alcoholic hepatitis. *Gastroenterology*. 2009 May;136(5):1639–50. doi: 10.1053/j.gastro.2009.01.056.
5. Bohatch Júnior M.S., Palheta M.S., Azevedo C.O., et al. Serum levels of interleukin-6 in patients with alcoholic liver disease and their association with clinical and laboratory parameters. *Drug Alcohol Depend*. 2015 Aug 1; 153:178–83. doi: 10.1016/j.drugalcdep.2015.05.038.
6. Lu Y., Zhuge J., Wang X., Bai J., Cederbaum A.I. Cytochrome P450 2E1 contributes to ethanol-induced fatty liver in mice. *Hepatology*. 2008 May;47(5):1483–94. doi: 10.1002/hep.22222.
7. Tian Z., Chen Y., Gao B. Natural killer cells in liver disease. *Hepatology*. 2013 Apr;57(4):1654–62. doi: 10.1002/hep.26115.
8. Kubes P., Mehal W.Z. Sterile inflammation in the liver. *Gastroenterology*. 2012 Nov;143(5):1158–1172. doi: 10.1053/j.gastro.2012.09.008.
9. Mathurin P., Lucey M.R. Management of alcoholic hepatitis. *J. Hepatol*. 2012 Feb;56 Suppl 1: S39–45. doi: 10.1016/S0168-8278(12)60005-1.
10. Tilg H., Day C.P. Management strategies in alcoholic liver disease. *Nat Clin Pract Gastroenterol Hepatol*. 2007 Jan;4(1):24–34. doi: 10.1038/ncpgasthep0683.
11. Singal A.K., Shah V.H. Therapeutic Strategies for the Treatment of Alcoholic Hepatitis. *Semin Liver Dis*. 2016 Feb;36(1):56–68. doi: 10.1055/s-0036-1571297.
12. Thursz M.R., Richardson P., Allison M., et al. Prednisolone or Pentoxifylline for Alcoholic Hepatitis. *N. Engl J. Med*. 2015 Apr 23;372(17):1619–28. doi: 10.1056/NEJMoa1412278.
13. Louvet A., Mathurin P. Alcoholic liver disease: mechanisms of injury and targeted treatment. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2015 Apr;12(4):231–42. doi: 10.1038/nrgastro.2015.35.
14. Stickel F., Datz C., Hampe J., Bataller R. Pathophysiology and Management of Alcoholic Liver Disease: Update 2016. *Gut Liver*. 2017 Mar 15;11(2):173–188. doi: 10.5009/gnl16477.
15. Gao B., Ahmad M.F., Nagy L.E., Tsukamoto H. Inflammatory pathways in alcoholic steatohepatitis. *J. Hepatol*. 2019 Feb;70(2):249–259. doi: 10.1016/j.jhep.2018.10.023.

---

© Фадюхина Дарья Ильинична (fadyukhina01@mail.ru); Прошина Марина Львовна (proshina2001marina@gmail.com);  
Сашкина Татьяна Ивановна (sas.tat.iva@gmail.com); Лукашова Карина Артуровна (lukakara18@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ХИРУРГИЧЕСКАЯ ТАКТИКА В ЛЕЧЕНИИ ДУХСТОРОННЕЙ БУЛЛЕЗНОЙ ЭМФИЗЕМЫ ЛЕГКИХ

### SURGICAL TACTICS IN THE TREATMENT OF BILATERAL BULLOUS PULMONARY EMPHYSEMA

**A. Khmara  
S. Kapralov  
M. Polidanov  
V. Maslyakov  
A. Danilov  
K. Volkov**

*Summary.* No one doubts that the use of minimally invasive surgical interventions can reduce the duration of the operation itself, and hence the anesthesia benefit, reduce the incidence and severity of intraoperative trauma, achieve rapid postoperative recovery of patients, improve the quality of life, and reduce the overall disability. Continuous growth of the number of patients with pulmonary emphysema complicated by spontaneous pneumothorax, combined with the difficulties arising when determining the method of treatment, dictate the need to develop minimally invasive thoracoscopic operations, allowing to reduce traumatism, provide better cosmetic effect, reduce the number of complications, and shorten the total period of disability.

*Keywords:* bullous emphysema, bilateral bullous emphysema, spontaneous pneumothorax, minimally invasive thoracoscopic surgeries, postoperative recovery of patients, quality of life.

**Хмара Артём Дмитриевич**

Кандидат медицинских наук, врач-хирург  
торакального хирургического отделения,  
Саратовский государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского  
premdania@yandex.ru

**Капралов Сергей Владимирович**

Доктор медицинских наук, доцент,  
Саратовский государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского  
sergejkapralov@yandex.ru

**Полиданов Максим Андреевич**

специалист научно-исследовательского отдела,  
Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург  
maksim.polidanoff@yandex.ru

**Масляков Владимир Владимирович**

Доктор медицинских наук,  
Саратовский государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского;  
Доктор медицинских наук, профессор,  
Медицинский университет «Реавиз», г. Саратов  
maslyakov@inbox.ru

**Данилов Андрей Дмитриевич**

Саратовский государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского, г. Саратов  
surgery1994@mail.ru

**Волков Кирилл Андреевич**

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский  
университет им. В.И. Разумовского»  
maksim.polidanoff@yandex.ru

*Аннотация.* Ни у кого не вызывает сомнений, что применение малоинвазивных оперативных вмешательств позволяет уменьшить длительность самой операции, а значит и анестезиологического пособия, снизить частоту и выраженность интраоперационной травмы, добиться быстрого послеоперационного восстановления пациентов, повышения качества жизни и сократить общие сроки нетрудоспособности. Продолжающийся рост количества пациентов с буллезной эмфиземой легких, осложненной спонтанным пневмотораксом, в сочетании с трудностями, возникающими при определении метода лечения, диктуют необходимость разработки миниинвазивных торакоскопических операций, позволяющих уменьшить травматичность, обеспечить лучший косметический эффект, снизить количество осложнений и сократить общие сроки нетрудоспособности.

*Ключевые слова:* буллезная эмфизема, двухсторонняя буллезная эмфизема, спонтанный пневмоторакс, миниинвазивные торакоскопические операции, послеоперационное восстановление пациентов, качество жизни.

## Введение

**Б**уллезная эмфизема (далее — БЭ) является одним из наиболее частых патологических процессов в легких, у трудоспособного населения встречается с частотой 0,5–5,7 %, что обуславливает существенную социальную значимость данного заболевания. Статистические данные свидетельствуют об увеличении общего числа пациентов с БЭ, хронической обструктивной болезнью легких (далее — ХОБЛ) и диффузной эмфиземой легких, что напрямую зависит от ухудшения экологии и увеличения числа курильщиков, в том числе потребителей курительных смесей и различного рода «заменителей» табачных изделий. На Земле 11–13 % людей страдают от выраженной обструкции дыхательных путей. Смертность от ХОБЛ удваивается каждые 5 лет (Global Initiative for Chronic obstructive pulmonary disease WHO, 2002). При этом следует отметить, что пик заболеваемости приходится на мужчин работоспособного возраста [1, 2, 3].

Целью исследования стало рассмотрение хирургической тактики в лечении двухсторонней буллезной эмфиземы легких.

## Материалы и методы исследования

Для анализа использовались различные базы данных, такие как MedLine, Science Direct, PubMed и eLIBRARY.ru. Поиск осуществлялся по ключевым словам. Методы исследования включали аналитический анализ и обобщение данных.

## Результаты и их обсуждение

Анализ литературных данных показывает, что у 10–12 % населения старше 30 лет в легких имеются буллезные изменения. Терминологически различают буллезную болезнь легких (далее — ББЛ) и БЭ. Под ББЛ понимают наличие одной или большего числа булл на фоне неизменной легочной ткани. БЭ характеризуется наличием булл на фоне диффузной эмфиземы легких [4].

По мнению ряда авторов БЭ чаще всего наблюдается у пациентов с ХОБЛ. При этом буллы следует дифференцировать с другими полостными образованиями, такими как собственно полости, кисты, бронхоэктазы, «сотовая» дегенерация легкого, парасептальная и панлобулярная эмфизема [5, 6, 7].

Следует сказать, что в последнее время отмечается рост пациентов с БЭ легких, осложненной спонтанным пневмотораксом (далее — СП) [4, 8]. Преимущественно страдают граждане трудоспособного возраста [9, 10]. По данным ряда авторов частота госпитализаций паци-

ентов с СП остается высокой и варьирует от 10 до 35 % [12, 13].

Анализ литературных данных показал, что заболеваемость вторичным СП варьирует от 2 (у женщин) до 6 (у мужчин) случаев на 100000 человек в год, а основными причинами его развития являются: патология дыхательных путей (ХОБЛ, астматический статус, муковисцидоз), инфекционные заболевания (туберкулез, пневмоцистная или деструктивная пневмония), интерстициальные болезни легких (идиопатический пневмосклероз, саркоидоз, интерстициальные пневмонии, гранулематоз Вегенера, лимфангиолеймиоматоз, туберозный склероз), болезни соединительной ткани (склеродермия, ревматоидный артрит, анкилозирующий спондилит, синдром Марфана, дерматомиозит, полимиозит), злокачественные опухоли (саркома, рак легкого), эндометриоз легких [4, 17, 18].

Отдельно выделяют первый эпизод СП и рецидивирующий СП. Сроки повторных эпизодов заболевания могут варьировать от суток до 2–3 месяцев и более после купирования первого пневмоторакса. Большинство авторов указывают, что без радикального оперативного вмешательства частота рецидивов после первого эпизода СП колеблется от 10 до 57 %, после второго эпизода составляет 48–62 %, после третьего — встречается практически в 100 % случаев [11, 15, 16, 19, 20].

Анализ литературы показал, что на современном этапе подходов к выбору лечебной тактики данной категории больных множество: от консервативного лечения до двусторонних резекций апикальных сегментов легких с профилактической целью [11, 14]. Также дискуссионным и нерешенным остается вопрос объема и сроков выполнения оперативного вмешательства [15, 19, 21, 22, 23, 24].

Считается, что одним из основных показаний к плановому оперативному вмешательству, даже при первом эпизоде пневмоторакса, является выявление булл или блебов [25, 26]. Также стоит отметить, что показанием к операции будет и впервые выявленная двухсторонняя буллезная эмфизема легких [50]. Однако в некоторых случаях даже компьютерная томография не позволяет визуализировать в легком патологические воздушные полости диаметром менее 1 см [24, 27]. В этом случае показанием к операции будет являться наличие у пациента пневмоторакса.

Многие авторы считают, что показаниями к оперативному лечению являются: рецидивирующий, двусторонний или ригидный пневмоторакс, несостоятельность аэростаза после дренирования плевральной полости (более 3–5 дней), а также спонтанный гемо пневмоторакс. В особую группу следует выделить особенности

профессии пациента, не позволяющие допуск к работе лиц, имеющих риск СП (авиаперсонал, водолазы, музыканты-духовики, военнослужащие, полицейские) [4, 11, 15, 21, 25], а также двухстороннее поражение легких буллами.

Противопоказаниями к оперативному лечению ряд авторов считает: продолжающееся курение, тяжелые сердечно-сосудистые заболевания, обуславливающие высокий анестезиологический риск, диффузная эмфизема с малым сдавлением окружающей легочной ткани, фактором риска является перенесенное ранее оперативное лечение на легком, а также анемия и пожилой возраст. Следует сказать, что с высоким риском ассоциированы подобные операции при наличии гиперкапнии, а также при диффузионной способности легких менее 40 % [4, 28, 29].

В ходе изучения литературных источников мы пришли к выводу, что выбор операции зависит от целого ряда обстоятельств. Буллэктомия проводится при относительно неизменной окружающей легочной ткани и дополняется плевродезом. Плевродез без резекции буллезно-измененных участков легкого рекомендуется проводить при диффузном поражении [4, 30], двухсторонняя резекция легких показана преимущественно при поражении верхних долей легких.

Не вызывает сомнений, что видеоторакоскопическое (далее — ВТС) оперативное вмешательство является менее травматичным, устраняя несоответствие большого и сложного торакотомического доступа с относительно небольшим основным этапом операции [15, 21, 27, 31, 32]. На современном этапе развития торакальной хирургии это оптимальный метод, что подтверждается большим числом публикаций [12, 33, 34, 35]. К достоинству метода, несомненно, следует отнести лучший косметический эффект, минимизацию послеоперационных осложнений, значительное уменьшение болевого синдрома и более легкую переносимость вмешательства пациентами. Однако, традиционная торакотомия используется достаточно часто и в настоящее время, что связано с практикой и рекомендациями в отдельных клиниках [21, 22].

Ряд авторов считают, что внедрение в современную практику оперативных двухпортовых вмешательств имеет ряд преимуществ по сравнению со стандартными ВТС операциями: сокращает длительность операции, дренирования плевральной полости и пребывания пациентов в стационаре. Слабая выраженность болевого синдрома позволяет снизить кратность и длительность введения обезболивающих препаратов в послеоперационном периоде. Отсутствие интраоперационных осложнений и незначительное число осложнений в послеоперационном периоде указывают на высокую эф-

фективность и возможность широкого применения этой методики в торакальной хирургии [12].

Учитывая широкое внедрение ВТС операций в последние годы, торакальные хирурги предпринимают многочисленные попытки сделать хирургические вмешательства менее инвазивными. Появляются варианты оперативного лечения двусторонних буллезных изменений, особенно при рецидивирующем пневмотораксе [36]. Данная когорта больных довольно объёмная, если учесть тот факт, что буллезные изменения, как правило, затрагивают оба легких.

На современном этапе большинство авторов выполняют одномоментную двухстороннюю резекцию булл через стернотомию или путем последовательных видеоассистированных торакоскопических (далее — ВАТС) операций или торакотомий. Коллеги из Китая осуществляют резекцию обоих легких посредством субкисфидального доступа [37], что, по нашему мнению, является многообещающей методикой. По мнению зарубежных авторов, одномоментные ВТС вмешательства при синхронном двустороннем поражении легких являются безопасными и доступными [38].

Проведенный нами анализ литературных данных отечественных и зарубежных источников по профильной специальности показал, что одномоментной односторонней резекции обоих легких в настоящее время посвящено очень мало работ. Тем не менее, предварительные результаты говорят о неплохих отдаленных исходах после данных видов вмешательств.

С целью оптимизации лечения больных разработана методика одномоментной двухсторонней резекции булл из одностороннего доступа, что значительно сокращает сроки лечения и реабилитации больных с БЭ. Как при открытом, так и при ВТС вмешательстве по поводу первичного СП операция условно подразделяется на три этапа: ревизия, вмешательство на измененном участке легкого и осуществление облитерации плевральной полости [25].

Операцией выбора легочного этапа является краевая (атипичная) или клиновидная резекция буллезно измененной паренхимы легкого, в том числе с использованием аппаратных швов [16, 19]. Применяются специальные герметизирующие клеевые композиции для покрытия линии резекции, электрическая, лазерная [8, 39] или аргон-плазменная коагуляция блебов [40]. Также ушивание булл без их вскрытия или с вскрытием [16], лигирование или клипирование основания одиночных булл, а также анатомическая резекция легкого (сегмент— или лобэктомия) [25, 31]. Чаще всего при буллах выполняется краевая резекция, реже — клиновидная [25].

Облитерация плевральной полости осуществляется путем плевродеза. Выделяют механический (повреждение поверхности плевры трением (абразия) с нарушением слоя мезотелиальных клеток) [41], химический (введение препарата, действие которого приводит к асептическому воспалению и образованию сращений между висцеральным и париетальным листками плевры, что и вызывает облитерацию плевральной полости) и физический (обработка париетальной плевры электрокоагуляцией, аргон-плазменная коагуляция, использование Nd:YAG-лазера или CO<sub>2</sub>-лазера) [23, 25] плевродез.

При отсутствии возможности выполнить радикальную операцию рекомендуется использовать химический плевродез [25]. При этом в качестве склерозирующего агента могут использоваться антибактериальные препараты, тальк [25, 42, 43], коллаген, 4 % раствор бикарбоната натрия [16], нитрат серебра, йодиол, 10 % раствор повидон-йода [44], декстроза, этиловый спирт [25]. Однако данных об эффективности этих препаратов нет [25]. Преимуществами плевродеза под прямым контролем является безболезненность процедуры и возможность обработать склерозирующим веществом всю поверхность плевры.

Для механического плевродеза используются специальные инструменты из торакоскопического набора для воздействия на плевру или, при их отсутствии, кусочек стерильной металлической губки, применяемой в быту [25].

В литературе также встречаются работы по осуществлению плевродеза физическим воздействием. Данный метод очень прост, надежен и результативен. Производится обработка париетальной плевры электрокоагуляцией, при этом можно использовать коагуляцию через марлевый шарик, смоченный физиологическим раствором. Такой способ плевродеза отличается большим объемом воздействия на плевру при меньшей глубине проникновения тока.

Разрабатываются методики, направленные на индукцию плевродеза с захватом не только париетальной, но и висцеральной плевры. Это позволяет сократить сроки образования внутри плевральных сращений. По нашему мнению, данная методика весьма перспективна, однако до настоящего времени не сформулированы подходы к применению этого метода, нет конкретных данных об объеме, времени экспозиции и тактике обработки плевры.

Наиболее эффективным способом физического плевродеза является применение аргоно-плазменного коагулятора, ультразвукового генератора [25] или воздействием лазерного излучения с целью деструкции париетальной плевры.

Но, несмотря на простоту и эффективность вышеперечисленных методик плевродеза, многие авторы считают наиболее надежным и радикальным способом париетальную (костальную) плеврэктомию (ленточная, полная, неполная) [10, 16, 19, 20, 25, 27, 39].

Анализ литературы показал, что даже при условии выполнения адекватного оперативного вмешательства, включающего как этап устранения изменений в легком (коагуляция бляшек, резекция булл), так и осуществление облитерации плевральной полости (плеврэктомию, плевродез), сохраняется риск повторного развития буллезных изменений и, следовательно, рецидива СП [4, 15, 22, 45, 51, 52].

Изучая литературные источники, мы встретили методики реабилитации пациентов, перенесших СП на фоне БЭ, путем назначения комплексной консервативной терапии, включающей стимуляцию коллагенообразования с применением аскорбиновой кислоты, витаминов группы В, препаратов магния, цинка, кальция, меди, антигипоксантов.

По результатам исследования [11] автором достоверно установлено наличие противовоспалительного и коллагеностимулирующего эффекта от применения лекарственного препарата Солкосерил в послеоперационном периоде, что позволило предупредить дальнейшее прогрессирование БЭ и предотвратить возникновение пневмоторакса с контрлатеральной стороны.

Медицинская и социальная значимость БЭ легких диктует необходимость разработки тактических подходов в целях повышения эффективности лечения данной категории больных. На современном этапе развития торакальной хирургии ни одно из состояний не вызывает такого количества дискуссий в выборе диагностической и лечебной тактики как СП и БЭ легких [16, 25].

Все авторы сходятся во мнении, что при выявлении буллезной патологии пациенту показано оперативное лечение, направленное на ликвидацию патологических изменений. С целью сокращения длительности оперативного вмешательства, выраженности болевого синдрома в послеоперационном периоде, снижения частоты интра- и послеоперационных осложнений, длительности пребывания пациента в стационаре в настоящее время преимущественно используются миниинвазивные ВТС операции [12]. Разработаны и успешно применяются однопортовые, двухпортовые и видеоассистированные операции, а также одномоментные резекции обоих легких, в том числе из одностороннего доступа.

Ни у кого не вызывает сомнений, что применение малоинвазивных оперативных вмешательств позволя-

ет уменьшить длительность самой операции, а значит и анестезиологического пособия, снизить частоту и выраженность интраоперационной травмы, добиться быстрого послеоперационного восстановления пациентов, повышения качества жизни, сократить общие сроки нетрудоспособности [12, 33, 46].

Сдерживающими факторами прогрессивного развития малоинвазивной хирургии в настоящий момент времени являются: необходимость специфического инструментария, включая модернизируемые компоненты в зависимости от поставленных перед хирургом задач, качественной торакоскопической аппаратуры, применяемых при резекции швивающих аппаратов и расходных материалов к ним [12, 13, 34, 47].

### Заключение

Таким образом, в ходе изучения отечественной и зарубежной литературы мы пришли к выводу, что преимущества и недостатки различных видов ВТС вмешательств торакальные хирурги активно обсуждают и в настоящее время [12, 33, 48–50]. Продолжающийся рост количества пациентов с БЭ легких, осложненной СП, в сочетании с трудностями, возникающими при определении метода лечения [14, 15, 16], диктуют необходимость разработки мини инвазивных торакоскопических операций, позволяющих уменьшить травматичность, обеспечить лучший косметический эффект, снизить количество осложнений и сократить общие сроки нетрудоспособности. А также мы считаем, что актуален вопрос разработки эффективного способа плевродеза при торакоскопических операциях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Клинические рекомендации «Эмфизема легких» (утв. Минздравом России, 2021 г.) 18.10.2021. Разработчик клинической рекомендации — Российское респираторное общество Одобрено Научно-практическим Советом Минздрава РФ.
2. Горбунков С.Д. Хирургическое лечение осложнений и исходов эмфиземы легких Дисс. . . на д. м. н. С-Пет. 2020; 157 с.
3. Базаров Д.В. Обоснование показаний и объема резекции при хирургическом уменьшении легкого у больных диффузной эмфиземой Дисс. . . на к.м.н. Москва. 2007; 167 с.
4. Бродская О.Н., Поливанов Г.Э. Буллезная эмфизема и буллезная болезнь легких. Практическая пульмонология. 2019; 1: 15–21.
5. Siddiqui N.A. et al. Bullous Emphysema. 2023 Jun 26. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
6. Agarwal R., Aggarwal A.N. Bullous lung disease or bullous emphysema. Respiratory Care 2006; 51 (5): 532–534.
7. Raouf S., Bondalapati P., Vidyula R. et al. Cystic lung diseases: algorithmic approach. Chest. 2016; 150 (4): 945–965.
8. Сушко А.А. и др. Миниинвазивная хирургия пневмоторакса. Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2014; 3 (47): 21–23.
9. Яблонский П.К. и др. Выбор лечебной тактики и возможности прогнозирования рецидивов у больных с первым эпизодом спонтанного пневмоторакса. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 11. Медицина. 2010; 1: 118–129.
10. Чикинев Ю.В. Анализ осложнений торакоскопических оперативных методов лечения буллезной формы эмфиземы легких. Сибирский научный медицинский журнал. 2018; 1: 65–68.
11. Клеткин М.Е. Метод выбора хирургического лечения спонтанного пневмоторакса при буллезной эмфиземе легких (экспериментально-клиническое исследование): дисс. . . к. м. н. ФГБОУ ВО «Курский ГМУ» Минздрава России. Курск, 2018; 145 с.
12. Дробязгин Е.А. и др. Двухпортовые видеоторакоскопические операции при буллезной эмфиземе легких. Эндоскопическая хирургия. 2020; 26 (4): 22–27.
13. Asano H. et al. Risk factors for recurrence of primary spontaneous pneumothorax after thoracoscopic surgery. J Thorac Dis. 2019; 11 (5): 1940–1944.
14. Корымасов Е.А. Анализ ошибок, опасностей и осложнений в лечении спонтанного пневмоторакса. Тольяттинский медицинский консилиум. — 2013; 3–4: 44–51.
15. Афендулов С.А. Современные способы лечения спонтанного пневмоторакса. Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009; 8 (1): 58–61.
16. Токтохоев В.А. и др. Современные особенности видеоторакоскопического лечения спонтанного пневмоторакса как осложнения буллезной эмфиземы легкого: систематизированный обзор литературы. Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2016; 1 (4–110): 162–167.
17. Kolodii, M. et al. Thoracoscopic giant lung bullaectomy: our initial experience. J Cardiothoracic surgery. 2022; 17: 37.
18. Gayatri Devi Y. et al. Clinical Profile of Spontaneous Pneumothorax in Adults: A Retrospective Study. The Indian journal of chest diseases & allied sciences. 2015; 57 (4): 219–223.
19. Вачев А.Н. и др. Оптимизация хирургической тактики при лечении больных со спонтанным пневмотораксом. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. — 2013; 6: 26–28
20. Соколов С.А. и др. Пути реализации улучшения качества оказания помощи пациентам с первичным спонтанным пневмотораксом. Эндоскопическая хирургия. 2015; 21 (5): 19–21.
21. Акопов А.Л. Видеоторакоскопическая костальная плеврэктомиа при первичном и вторичном спонтанном пневмотораксе. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2012; 11: 15–18.
22. Афендулов С.А. и др. Хирургическая тактика при спонтанном пневмотораксе (с комментарием редколлегии). Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. 2010; 6: 31–35.
23. Пландовский А.В. Выбор рациональной хирургической тактики у пациентов со спонтанным пневмотораксом. Военная медицина. 2012; 1 (22): 90–94.

24. Соколов С.А. Оригинальный способ тотальной плеврэктомии в радикальном оперативном пособии при первичном спонтанном пневмотораксе. Омский научный вестник. 2014; 1 (128): 60–62.
25. Национальные клинические рекомендации по лечению спонтанного пневмоторакса Рабочая группа по подготовке текста клинических рекомендаций: проф. К.Г. Жестков, доцент Б.Г. Барский (кафедра торакальной хирургии Российской медицинской академии последипломного образования, Москва), к.м.н. М.А. Атюков, к.м.н. А.А. Пичуров (Центр интенсивной пульмонологии и торакальной хирургии СПбГБУЗ «ГМПБ№2», Санкт-Петербург). Состав комитета экспертов: Проф. А.Л. Акопов (Санкт-Петербург), проф. Е.А. Корымасов (Самара), проф. В.Д. Паршин (Москва), член-корр. РАМН, проф. В.А. Порханов (Краснодар), проф. Е.И. Сигал (Казань), проф. А.Ю. Разумовский (Москва), проф. П.К. Яблонский (Санкт-Петербург), проф. Stephen Cassivi (Rochester, USA), Академик РАМН, проф. Gilbert Massard (Strasbourg, France), проф. Enrico Ruffini (Torino, Italy), проф. Gonzalo Varela (Salamanca, Spain), 2018 Под ред Перельмана, 2018.
26. Чикинев Ю.В. и др. Анализ осложнений торакоскопических оперативных методов лечения буллезной формы эмфиземы легких. Сибирский научный медицинский журнал. 2018; 1: 65–68.
27. Десятерик В.И. и др. Выбор метода плевродеза при лечении спонтанного пневмоторакса. Вестник неотложной и восстановительной медицины. 2012; 13 (2): 260–262.
28. Martinez F.J. Evaluation and medical management of giant bullae. Available from: <https://www.uptodate.com/contents/evaluation-and-medical-management-of-giant-bullae> Accessed 2019.
29. Marchetti N., Criner G.J. Surgical approaches to treating emphysema: lung volume reduction surgery, bullectomy, and lung transplantation. *Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine*. 2015; 36 (4): 592–608.
30. Tschopp J.M. et al. ERS task force statement: diagnosis and treatment of primary spontaneous pneumothorax. *The European Respiratory Journal*. 2015; 46 (2): 321–335.
31. Ежемский М.А. и др. Видеоторакоскопические вмешательства при лечении спонтанного пневмоторакса. Вестник неотложной и восстановительной медицины. 2013; 14 (3): 336–338.
32. Sakurai H. Video thoracoscopic surgical approach for spontaneous pneumothorax: review of the pertinent literature. *World journal of emergency surgery*. 2008; 3: 23.
33. Chikaishi Y. et al. What is the best treatment strategy for primary spontaneous pneumothorax? A retrospective study. *Ann Med Surg (Lond)*. 2019; 45 :98–101.
34. Cardillo G. et al. Primary spontaneous pneumothorax: time for surgery at first episode? *J. Thorac Dis*. 2019; 11 (9): 1393–1397.
35. Guo H.Y. et al. Medical Thoracoscopy-Assisted Argon Plasma Coagulation Combined with Electrosurgical Unit for the Treatment of Refractory Pneumothorax in Elderly Patients. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*. 2019; <https://doi.org/10.5761/atcs.0a.19-00017>
36. Xiaojian L. et al. Unilateral single port thoracoscopic surgery for bilateral pneumothorax or pulmonary bullae, *Journal of Cardiothoracic Surgery*. 2019; 14: 71.
37. Wang J. et al. Clinical analysis of subxiphoid single-port thoracoscopic surgery for simultaneous bilateral lung lesion resection *BMC Surgery*. 2022; 22: 203
38. Wang Z. et al. One-stage VATS surgery for synchronous bilateral lung lesion: a safe and feasible procedure. *J. Cardiothorac Surg*. 2023; 18 (1): 126.
39. Фунлоэр И.С. Торакоскопический метод лечения больных буллезной болезнью легких, осложненной спонтанным пневмотораксом. Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2014; 14 (7): 170–173.
40. Шулуто А.М. и др. Изменение тактики лечения нетравматического пневмоторакса на основе применения малоинвазивных операций и термических инструментов. *Московский хирургический журнал*. 2014; 2: 9–16.
41. Ling Z.G. et al. The effect of pleural abrasion on the treatment of primary spontaneous pneumothorax: a systematic review of randomized controlled trials. *PLoS One*. 2015; 10 (6): e0127857.
42. Изюмов М.С. и др. Сравнительная морфологическая оценка эффективности плевродеза растворами перекиси водорода и тальком. Вестник экспериментальной и клинической хирургии. 2017; 10 (2–35): 123–129.
43. Adewole O.O. et al. Effectiveness of thoracoscopic talc pleurodesis in the management of complicated spontaneous pneumothorax. *J. of bronchology & interventional pulmonology*. 2015; 22 (1): 48–51.
44. Huang H. et al. Risk factors for recurrence of primary spontaneous pneumothorax after thoracoscopic surgery. *Bioscience trends*. 2015; 9 (3): 193–197.
45. Темирбулатов В.И. и др. Рецидив буллезной эмфиземы легких, осложненной спонтанным пневмотораксом, после радикальной буллэктомии. Вестник экспериментальной и клинической хирургии. 2017; 10 (1–34): 32–35.
46. Bertolaccini L. et al. Uniportal video-assisted thoracic surgery for pneumothorax and blebs/bullae. *J. Vis Surg*. 2017; 21 (3): 107.
47. Allain P.A. et al. Comparison of several methods for pain management after video-assisted thoracic surgery for pneumothorax: an observational study. *BMC Anesthesiol*. 2019; 19 (1): 120.
48. Bertolaccini L. et al. Uniportal video-assisted thoracic surgery for pneumothorax and blebs/bullae. *J. Vis Surg*. 2017; 21 (3): 107.
49. Mo A. Low-cost of uniportal thoracoscopic surgery for primary spontaneous pneumothorax. *Respir Med Case Rep*. 2019; 28: 100878.
50. Li X. et al. Unilateral single port thoracoscopic surgery for bilateral pneumothorax or pulmonary bullae. *J Cardiothorac Surg*. 2019; 14 (1): 71.

---

© Хмара Артём Дмитриевич (premdania@yandex.ru); Капралов Сергей Владимирович (sergejkapralov@yandex.ru);  
Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru); Масляков Владимир Владимирович (maslyakov@inbox.ru);  
Данилов Андрей Дмитриевич (surgery1994@mail.ru); Волков Кирилл Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВНЕЗАПНАЯ СМЕРТЬ: МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ, СТРАТИФИКАЦИЯ РИСКА, ДИАГНОСТИКА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

## SUDDEN MORTALITY: MEDICAL AND SOCIAL FACTORS, RISK STRATIFICATION, DIAGNOSIS (LITERATURE REVIEW)

**A. Shvedova  
I. Solovyova**

*Summary. Introduction:* Priority regions for the improvement of healthcare are signs of growing existence expectancy of the populace and decreasing the mortality rate. In the analysis of the nosological structure of mortality, the leading place is occupied by pathology of the cardiovascular system. Sudden cardiac death occupies a special place among diseases of the cardiovascular system. This is a pathology that develops suddenly, including in people of working age without severe somatic pathology. To improve demographic indicators, it is necessary to identify high-risk patients in a timely manner and improve the medical care provided to them.

The purpose of the literature review on the problem of sudden cardiac death is to form an up-to-date understanding of the current situation, the contribution of this phenomenon to mortality rates. Consideration of the opportunity of the presence of clinical and social elements that may assist discover high-chance sufferers and enhance the availability of hospital treatment to them for you to save you death.

*Conclusion:* The article presents a literature review of the databases «eLibrary» and «Pubmed». Many factors related to the anatomical and physiological features of the cardiovascular system, concomitant pathology, lifestyle features, bad habits, predisposing socio-economic conditions affecting the occurrence of sudden death have been identified and analyzed. Based on these factors, diagnostic scales have been developed by which the risk of sudden death can be predicted. However, diagnostic scales show their inefficiency and are not used in medical institutions. The further search for risk factors for sudden death, the development of effective, user-friendly scales and their implementation in practical healthcare remains an important task.

*Keywords:* sudden death, sudden death predictors, medical and social factors, hospital mortality, risk stratification.

**Шведова Александра Андреевна**

Аспирант, ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого»  
alexandra.schwedova@yandex.ru

**Соловьева Ирина Анатольевна**

доктор медицинских наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого»;  
врач пульмонолог, отдел качества медицинской помощи КГБУЗ «Краевая клиническая больница», г. Красноярск  
acad-prorector@krasgmu.ru

*Аннотация. Актуальность.* Приоритетными направлениями развития здравоохранения являются показатели увеличения продолжительности жизни населения и снижение уровня смертности. При анализе нозологической структуры смертности лидирующее место занимает патология сердечно-сосудистой системы. Особое место среди заболеваний сердечно-сосудистой системы занимает внезапная сердечная смерть. Это патология, которая возникает внезапно и может развиваться у молодых людей без тяжелой соматической патологии. Для улучшения демографических показателей необходимо своевременно выделять пациентов повышенного риска и совершенствовать оказываемую им медицинскую помощь.

Целью обзора литературы по проблеме внезапной сердечной смерти является формирование актуального представления о текущей ситуации, вкладе данного явления в показатели смертности населения. Рассмотрение вопроса о возможности наличия медико-социальных факторов, которые способны помочь выделить пациентов повышенного риска и усовершенствовать оказание им медицинской помощи с целью предотвращения летального исхода.

*Заключение.* В статье представлен обзор литературы баз данных «eLibrary» и «Pubmed». Выделено и проанализировано большое количество факторов, связанных с анатомо-физиологическими особенностями сердечно-сосудистой системы, сопутствующей патологией, особенностями образа жизни, вредными привычками, предрасполагающими социально-экономическими условиями, влияющих на возникновения внезапной смерти. На основе этих факторов разработаны диагностические шкалы, по которым можно прогнозировать риск возникновения внезапной смерти. Однако диагностические шкалы показывают свою неэффективность и не используются в медицинских учреждениях. Остается важной задачей дальнейший поиск факторов риска внезапной смерти, разработка эффективных, удобных в использовании шкал и внедрение их в практическое здравоохранение.

*Ключевые слова:* внезапная смерть, предикторы внезапной смерти, медико-социальные факторы, госпитальная летальность, стратификация риска.

## Введение

Увеличение продолжительности жизни является ведущей целью системы здравоохранения, наряду с уменьшением показателя смертности. Изучая причины смертности, особое внимание уделено заболеваниям сердечно-сосудистой системы, занимающим лидирующую роль в структуре нозологии смерти. Основные причины летальных исходов связаны с прогрессированием хронической сердечной недостаточности (50 % случаев) и внезапной сердечной смертью (ВСС) (50 %). Каждый год более 300 тыс. человек становятся жертвами внезапной сердечной смерти в России [1].

Внезапную смерть можно назвать глобальной проблемой. Она развивается внезапно, может быть первым и последним проявлением патологии сердечно-сосудистой системы. Зачастую развивается у молодых, трудоспособных людей. В медицинских учреждениях не происходит выделение пациентов повышенного риска по развитию внезапной смерти, им не проводятся дополнительные лабораторно-инструментальные обследования для своевременного выявления развития жизнеугрожающих состояний.

Целью работы является рассмотрение вопроса о возможности наличия медико-социальных факторов, которые способны помочь выделить пациентов повышенного риска и усовершенствовать оказание им медицинской помощи с целью предотвращения летального исхода.

## Материалы и методы

Поиск материалов производился в базе данных «eLibrary». Ключевые слова: «внезапная смерть», «эпидемиология внезапной смертности», «факторы возникновения внезапной смерти», «диагностические шкалы внезапной смертности», «стратификация риска внезапной смерти».

А также в базе данных «Pubmed». Ключевые слова: «sudden death», «epidemiology of sudden death», «factors of sudden death», «diagnostic scales for sudden death», «risk stratification of sudden death».

## Результаты и обсуждение

Под внезапной смертью понимают ненасильственную смерть, развившуюся моментально или наступившую в течение часа с момента возникновения острых изменений в клиническом статусе больного. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) дает определение внезапной смерти как летальному исходу, наступившему в течение шести часов на фоне появления симптомов нарушения сердечной деятельности у практически здо-

ровых людей или у лиц, которые уже страдали от заболеваний сердечно-сосудистой системы, но их состояние считалось удовлетворительным [1, 2].

С целью выявления частоты синдрома внезапной смерти было проведено исследование РЕЗОНАНС, включающее 285736 пациентов с ишемической болезнью сердца [3]. Исследование показало, что именно ишемическая болезнь сердца является наиболее частой причиной синдрома внезапной смерти. Согласно результатам исследования, уровень синдрома внезапной достигает 69 случаев на 100000 мужчин и 26 случаев на 100000 женщин в год. Наибольшая частота синдрома внезапной смерти отмечена в диапазоне возрастов 50–59 лет для мужчин и 70–79 лет для женщин, с последующим уменьшением в более старших возрастных группах. Оценка медицинских записей, опросы близких умерших, а также профессиональные оценки врачей демонстрируют, что фактическое количество случаев синдрома внезапной смерти значительно выше официально зафиксированных, нахождение разницы в 2,3 раза для мужчин и в 2,8 раза для женщин [3]. Это указывает на недооценку риска развития синдрома внезапной смерти при ишемической болезни сердца у населения. Исследование также выявило, что недооценка синдрома внезапной смерти происходит из-за ошибок в медицинской документации (55,6 %) и недостаточно активного диагностического поиска (45,4 %).

Исследование ГЕРМИНА, включающее 417740 человек трудоспособного возраста, показало частоту ВСС 25,4 на 100000 населения. Анализ данных по полу выявил значительные различия: ВСС среди мужчин достигала 46,1 на 100000 населения, в то время как среди женщин этот показатель был значительно ниже — 7,5 на 100000 населения. Таким образом, соотношение ВСС между мужчинами и женщинами составило 6,1:1 [4].

Наиболее распространенной причиной летальных исходов является хроническая ишемическая болезнь сердца, составляющая 43 % случаев. Острые проявления ИБС (ишемическая болезнь сердца) занимают второе место с частотой в 37 %. Кардиомиопатии были указаны как основная причина смерти в 18 % случаев, в то время как врожденные сердечные пороки были идентифицированы как непосредственная причина смерти только в 2 % случаев [5].

Этиологические факторы ВСС в разных возрастных группах отличаются. В молодом возрасте преобладают кардиомиопатии и миокардиты, а также более выражена роль идиопатических электрических синдромов сердца. С возрастом у пациентов значительно увеличивается вклад ишемической болезни сердца, дегенеративных изменений клапанов сердца и сопутствующей сердечной недостаточности в развитии ВСС [1, 6, 7].

В соответствии с национальными рекомендациями выделяют основные и второстепенные факторы риска [1].

К основным факторам риска относятся эпизод сердечного ареста в анамнезе и/или гемодинамически значимая устойчивая ЖТ, указание в анамнезе на перенесенный инфаркт миокарда, эпизоды синкопе, выявленная при инструментальном обследовании систолическая дисфункция, сопровождающаяся снижением фракции выброса левого желудочка менее 40 %, ЖЭ и/или эпизоды неустойчивой ЖТ. Второстепенными факторами риска являются: гипертрофия миокарда левого желудочка, артериальная гипертензия, гиперлипидемия, сахарный диабет, курение, избыточный вес, употребление алкоголя, увеличение частоты сердечных сокращений, физическая активность, гиперсимпатикотония и другие состояния [1].

Для людей с основными факторами риска ВСС разработаны клинические рекомендации по их ведению, в то время второстепенные факторы риска часто игнорируются, особенно у лиц молодого возраста [8].

Наиболее значимым, хотя и противоречивым второстепенным фактором риска ВСС является артериальная гипертензия (АГ) [9]. Доказано, что повышение систолического артериального давления (АД) на каждые 10 мм рт. ст. по данным суточного мониторирования АД увеличивает риск ВСС на 35 % [10].

Увеличение частоты сердечных сокращений (ЧСС) также является независимым фактором риска развития ВСС [9, 11]. Повышение ЧСС (частота сердечных сокращений) более 90 уд/мин — независимый фактор риска ВСС у пациентов среднего возраста [1].

Еще один второстепенный фактор риска ВСС — длительность скорректированного интервала Q–T. Увеличение интервала Q–T более 420 мс является предиктором ВСС и повышает риск возникновения желудочковой тахикардии и фибрилляции желудочков [12].

### *Физическая нагрузка.*

Наблюдается корреляция между физической активностью и риском ВСС. Внезапная смерть во время физической нагрузки, как правило, происходит у людей, которые ранее не занимались тренировками [1]. Для людей без спортивной подготовки периоды высокой физической нагрузки несут повышенную угрозу возникновения ВСС или же острого инфаркта миокарда (ОИМ). Однако, регулярная умеренная активность или тренировки высокой интенсивности на протяжении не менее 60 минут еженедельно способствуют снижению вероятности развития ВСС в 3–4 раза [13].

### *Алкоголь.*

Риск возникновения ВСС повышается при чрезмерном потреблении крепких алкогольных напитков [1]. Это может быть обусловлено увеличением интервала QT, которое встречается у алкоголиков [14]. Но существуют и другие исследования, British Regional Heart Survey было установлено, что умеренное потребление алкоголя в небольших количествах способствует снижению риска смерти при развитии первого большого коронарного события [13].

### *Курение.*

Исследовательские данные, собранные в ходе анализа состояния здоровья населения, выявили, что табачная зависимость сама по себе не принимается за непосредственный фактор риска ВСС или острого инфаркта миокарда. Несмотря на это, курение расценивается как значимый фактор, способный в долгосрочной перспективе повысить вероятность ВСС [13].

### *Сахарный диабет.*

У пациентов с сахарным диабетом (СД) 1 типа сердечно-сосудистые события возникают в среднем на 10–15 лет раньше, чем у сопоставимой группы контроля без СД, а скорректированный на возраст относительный риск сердечно-сосудистых заболеваний примерно в 10 раз выше, чем в общей популяции [16]. В настоящее время предложено несколько механизмов, объясняющих повышенный риск ВСС у лиц с СД. К ним относятся острая и бессимптомная ишемия миокарда, удлинение интервала QT, гипогликемия, диабетическая кардиомиопатия и снижение респираторной реакции на гипоксию и гиперкапнию. Повышенный аритмогенный потенциал, возникающий в результате связанной с СД автономной нейропатии, может быть еще одним фактором, способствующим этому [17–19].

### *Липиды.*

Обширные эпидемиологические исследования подтверждают прямую связь между повышенным риском ИБС (и, возможно, ВСС) с диетами, богатыми насыщенными жирными кислотами и сниженными полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК) [12]. Исследование американских врачей, охватившее 20551 мужчин в возрасте 40–84 лет, не страдавших ОИМ, продемонстрировало, что употребление рыбы раз в неделю снижает относительный риск ВСС в два раза, не зависимо от других факторов риска [11].

Для анализа социальных факторов, оказывающих влияние на ВСС интересен эпидемиолого-клинический анализ ВСС у 1639 умерших коренных и некоренных жи-

телей Ферганской долины с учетом влияния некоторых социальных факторов риска региона. ВСС достоверно часто случается среди безработных — 69,7 %. При анализе национальности выявлено, что наиболее часто ВСС развивается у русских — 28,4 %, реже среди татар — 13,5% и наиболее редко у таджиков — 5,3 %. Большинство случаев ВСС (99,6 %) приходится на лиц, занимающихся интеллектуальным трудом [20].

На примере Республики Бурятия изучена взаимосвязь между уровнем смертности и социально-экономическими показателями уровня жизни населения. Общий коэффициент смертности населения трудоспособного возраста наиболее тесно связан с такими показателями уровня жизни, как недостаток денежных доходов, соотношение среднедушевых денежных доходов и величины прожиточного минимума, соотношение среднемесячной номинальной начисленной заработной платы и величины прожиточного минимума, соотношение среднего размера назначенных пенсий и величины прожиточного минимума, численности населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума [21].

#### Диагностика предикторов и прогноз риска ВСС

Очень часто острые кардиальные приступы в момент ВСС остаются первым и единственным проявлением на фоне полного клинического благополучия, и если симптоматическую ВСС, развивающуюся на фоне сопутствующей патологии сердечно-сосудистой системы, есть возможность предугадать и быть к ней готовым, то бессимптомная ВСС остается крайне непредсказуемым и грозным следствием ВСС [22, 23].

Современные популяционные классификаторы сердечно-сосудистого риска (Euroscore, Euroscore II, Timi, Seattle Heart Failure Model, Oasis и другие) включают в себя ряд клинических факторов, таких как возраст, приступы стенокардии и инфаркта миокарда, дилатацию полостей сердца, снижение фракции выброса левого желудочка, высокий уровень липопротеинов низкой плотности, эпизоды синкопе и другое, однако сохраняют крайне низкую степень персонализации и не учитывают наличия нарушений биоэлектрических процессов, протекающих в кардиомиоцитах [15]. Вследствие этого точность стратификационных шкал ВСС остается низкой (51,3–66,7 %), а доля ложноположительных и ложноотрицательных прогнозов — высокой [24].

В последнее время особую актуальность приобрели исследования генетических методов прогноза риска развития ВСС. На сегодня известно более 1400 мутаций в 20 генах, ассоциированных с гипертрофической КМП, около 40 генов, связанных с дилатационной КМП, и 15 генов — с аритмогенной КМП правого желудочка [25]. Особенно актуальным представляется вопрос применения молекулярно-генетических методов рас-

познавания характерных предрасположенностей к заболеваниям сердца мутаций остается в сфере судебно-медицинской экспертизы: около 60 % посмертных диагнозов у лиц с ВСС обуславливаются болезнями нарушения электролитного обмена и синдромами аритмий, которые не имеют ярко выраженного, а зачастую и вовсе не имеют морфологического макро- и микроскопического субстрата. В таких случаях постановка окончательного судебно-медицинского диагноза представляет определенную сложность, особенно при учете отсутствия единых строгих критериев диагностики КМП [22, 26, 27]. Молекулярная аутопсия способна не только облегчить посмертную диагностику нетривиальных случаев смерти, но и спасти жизнь проинформированным о наличии генетической мутации близким погибшего, которые смогут при желании продолжить диагностику предполагаемого заболевания и успеть начать профилактику риска развития ВСС. Однако методы генотипирования остаются достаточно дорогостоящими и сохраняют индивидуальный характер, нежели скрининговый.

Особый интерес представляют современные компьютерные модели, предназначенные для прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний. Эти модели способны повысить точность прогноза риска развития таких заболеваний до 90 % и более [15, 28]. Например, нейронные сети демонстрируют точность около 98 % в выявлении образцов эктопического идиовентрикулярного ритма и 97 % в обнаружении эпизодов эктопического суправентрикулярного ритма [15]. Применение модели прогнозирования ВСС вследствие риска атеросклероза, основанной на данных из Северной Америки показало, что модель обладает высокой чувствительностью (89,8 %) и умеренной специфичностью (60,6 %) [28].

В качестве методов раннего выявления заболеваний сердечно-сосудистой системы и их профилактики, в том числе ВСС, некоторые авторы предлагают использовать наружные регистраторы событий — удобные в использовании устройства для записи электрокардиограммы в течение короткого времени в момент или после приступа стенокардии и других признаков сердечных заболеваний, с последующей передачей результатов врачу для анализа. Данные устройства могут быть встроены в чехлы для телефонов, что делает их очень удобными в использовании и позволяет предположить их большие перспективы в дальнейшем распространении и использовании. Программное обеспечение может быть разнообразным, например, устройство «CardioQVARK», помимо электрокардиограммы, учитывает вредные привычки, избыточную массу тела и артериальную гипертензию различной степени тяжести [29].

#### Заключение

Рассмотрение текущей ситуации и эпидемиологии внезапной смерти является важным моментом в поис-

ке методов оптимизации ситуации здравоохранения по показателю смертности. Выделено и проанализировано большое количество факторов риска — анатомо-физиологический особенности сердечно-сосудистой системы, сопутствующая патология, особенности образа жизни, вредные привычки, предрасполагающие социально-экономические условия. На основе которых разработаны диагностические шкалы (Euroscore, Euroscore II, Timi, Seattle Heart Failure Model, Oasis и другие), по которым можно прогнозировать риск. Однако текущие методики стратификации риска не показывают свою эффективность в связи с низкой точностью и высоким процентом ложноположительных и ложноотрицатель-

ных результатов. Молекулярно-генетические методы диагностики являются дорогостоящими и не подходят для скрининга. Поэтому в практическом здравоохранении не происходит выделения пациентов повышенного риска по внезапной смерти и как следствие не проводятся дополнительные медицинские мероприятия, направленные на профилактику летальных исходов. Современная медицина должна стремиться к разработке инновационных, точных и экономически доступных способов прогнозирования внезапной смерти. Необходимо своевременно выделять пациентов повышенного риска, совершенствуя оказываемую им медицинская помощь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев А.А., Аверьянов А.В., Арутюнов А.Г. и др. Национальные рекомендации по определению риска и профилактике внезапной сердечной смерти — 2018. Кардиология: Новости. Мнения. Обучение. 2019;1(20):64–88
2. Гервальд В.Я., Насонов Т.Г., Лепилов А.В. и др. Внезапная сердечная смерть: состояние проблемы. Современные проблемы науки и образования. 2018; 6:70
3. Бойцов С.А., Никулина Н.Н., Якушин С.С. и др. Внезапная сердечная смерть у больных ишемической болезнью сердца: по результатам Российского многоцентрового эпидемиологического исследования заболеваемости, смертности, качества диагностики и лечения острых форм ИБС (РЕЗОНАНС). Российский кардиологический журнал. 2011;16(2):59–64
4. Линчак Р.М., Недбайкин А.М., Семенцова Е.В. и др. Частота и структура внезапной сердечной смертности трудоспособного населения Брянской области. Данные регистра ГЕРМИНА (регистр внезапной сердечной смертности трудоспособного населения Брянской области). Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2016;12(1):45–50
5. Ревишвили А.Ш., Неминуций Н.М., Баталов Р.Е. и др. Всероссийские клинические рекомендации по контролю над риском внезапной остановки сердца и внезапной сердечной смерти, профилактике и оказанию первой помощи (часть 7). Неотложная кардиология. 2019; 1:19–40
6. Полиданов М.А., Блохин И.С., Скороход А.А., Алиева С.Г. Внезапная сердечная смерть: признаки, симптомы, причины, диагностика, лечение. Матрица научного познания. 2020; 4:87–195
7. Качнов В.А., Тыренко В.В., Колюбаева С.Н. и др. Второстепенные факторы риска внезапной сердечной смерти и гены артериальной гипертензии. Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. 2020;12(3):27–34. doi:10.17816/mechnikov34642
8. Шляхто Е.В., Арутюнов Г.П., Беленков Ю.Н. и др. Национальные рекомендации по определению риска и профилактике внезапной сердечной смерти. М.: Медпрактика-М. 2018:247
9. Verdecchia P., Angeli F., Cavallini C., et al. Sudden cardiac death in hypertensive patients. Hypertension. 2019;73(5):1071–1078. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.12684
10. Norrish G., Kaski J.P. The Risk of Sudden Death in Children with Hypertrophic Cardiomyopathy. Heart Fail Clin. 2022;18(1):9–18. doi: 10.1016/j.hfc.2021.07.012
11. Junttila M.J., Holmström L.T.A., Huikuri H.V. Sudden cardiac death-Progress in epidemiology limited by time. Heart Rhythm. 2023;20(11):1510–1511. doi: 10.1016/j.hrthm.2023.08.024
12. Robinson A. Predicting sudden death . . . and other research. BMJ. 2024;385: q1396. doi:10.1136/bmj. q1396
13. Krahn A.D., Tfelt-Hansen J., Tadros R., et al. Latent Causes of Sudden Cardiac Arrest. Journal of the American College of Cardiology: Clinical Electrophysiology. 2022;8(6):806–821. doi: 10.1016/j.jacep.2021.12.014
14. Chugh S.S., Reinier K., Uy-Evanado A., et al. Prediction of Sudden Cardiac Death Manifesting With Documented Ventricular Fibrillation or Pulseless Ventricular Tachycardia. JACC Clin Electrophysiol. 2022;8(4):411–423. doi: 10.1016/j.jacep.2022.02.004
15. Svane J., Pedersen-Bjergaard U., Tfelt-Hansen J. Diabetes, and the Risk of Sudden Cardiac Death. Curr Cardiol Rep. 2020;22(10):112. doi:10.1007/s11886-020-01366-2
16. Remme C.A. Sudden Cardiac Death in Diabetes and Obesity: Mechanisms and Therapeutic Strategies. Can J. Cardiol. 2022;38(4):418–426. doi: 10.1016/j.cjca.2022.01.001
17. Hyman M.C., Deo R. Sudden Cardiac Death: In Search of a New Standard. JACC Clin Electrophysiol. 2023;9(3):414–415. doi: 10.1016/j.jacep.2022.12.005
18. Keen S.K., Simpson R.J Jr. Sudden Death: Thinking Beyond the Heart. J Am Coll Cardiol. 2021;78(10):61. doi: 10.1016/j.jacc.2021.06.046
19. Мамасалиев Н.С., Туйчиев А.Х., Турсунов Х.Х., Усмонов Б.У. Эпидемиолого-клинический анализ случаев внезапной сердечной смерти среди населения на основе некоторых социальных и этнических факторов. Материалы 21-го Всероссийского конгресса (Всероссийской научно-практической конференции с международным участием), посвященного 125-летию Первого Санкт-Петербургского Государственного медицинского университета имени Академика И.П. Павлова, Санкт-Петербург, 09–10 июня 2022 года. 2022;73
20. Будаев Б.С., Цыбиков А.С., Дармаев Т.Г. и др. Моделирование возрастных показателей смертности населения Бурятии в зависимости от уровня жизни. Сибирское медицинское обозрение. 2019;3(117):96–105. doi:10.20333/2500136-2019-3-96-105
21. Пиголкин Ю.И., Шилова М.А., Березовский Д.П. и др. Молекулярно-генетические основы внезапной сердечной смерти лиц молодого возраста с кардиомиопатией различного генеза. Судебно-медицинская экспертиза. 2019;62(3):48–53

22. Теплов В.М., Прасол Д.М., Коломойцев В.В. и др. Центр по лечению внезапной сердечной смерти: результаты пяти лет работы. Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2023;20(1):17–23
23. Фролов А.В. Информационное обеспечение первичной профилактики внезапной сердечной смерти. Кардиология в Беларуси. 2022;14(2):145–155. doi:10.34883/pi.2022.14.2.001
24. Качнов В.А., Колюбаева С.Н., Тыренко В.В. и др. Исследование генетических факторов возникновения сердечно-сосудистых заболеваний у лиц с риском развития внезапной сердечной смерти. Гены и Клетки. 2020;15(2):73–80
25. Мамажонов С.С., Маматалиев А.Р., Асранов С.А., Раззаков Б.Ю. Морфометрические изменения сердца при внезапной сердечной смерти. Экономика и социум. 2020;7(74):277–284
26. Kelly K.L., Lin P.T., Basso C., et al. Sudden cardiac death in the young: A consensus statement on recommended practices for cardiac examination by pathologists from the Society for Cardiovascular Pathology. Cardiovascular pathology. 2023; 63:107497. doi: 10.1016/j.carpath.2022.107497
27. Welten S.J.G.C., Rimmelzwaal S., Blom M.T., et al. Validation of the ARIC prediction model for sudden cardiac death in the European population: The ESCAPE-NET project. American Heart Journal. 2023; 262:55–65. doi: 10.1016/j.ahj.2023.03.018
28. Качнов В.А., Тыренко В.В., Рудченко И.В. и др. Возможности выявления скрытной патологии сердечно-сосудистой системы и профилактики внезапной сердечной смерти с применением наружных регистраторов событий. Профилактическая и клиническая медицина. 2020;2(75):45–51

---

© Шведова Александра Андреевна (alexandra.schwedova@yandex.ru); Соловьева Ирина Анатольевна (acad-prorector@krasgmu.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

Наши авторы

**Abrosimov S.** — Postgraduate Student, Peoples' Friendship University of Russia

**Akhmadzyanova A.** — Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner

**Aksenov S.** — Doctor of Economics, Professor, Ufa State University of Science and Technology

**Aliev M.** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Adyghe State University (ASU), Maikop

**Altynnikov M.** — Postgraduate Student, Irkutsk State University of Railway Engineering

**Amarantov D.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner»

**Antonovskaya O.** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering»

**Barinova A.** — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner»

**Besklubnaya A.** — Candidate of Pedagogical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering»

**Borisova K.** — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Northern State Medical University»

**Danilov A.** — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

**Denisova P.** — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner»

**Drilenko A.** — Deputy Director, Kuban State Technological University

**Drilenko D.** — Kuban State Technological University

**Drozzhina V.** — Associate Professor, Candidate of Biological Sciences, Voronezh State Pedagogical University

Our authors

**Fadiukhina D.** — Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «N.I. Pirogov Russian National Research Medical University»

**Fedachuk N.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner»

**Fedorov S.** — Senior Lecturer, Kuban State Technological University

**Fomicheva E.** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Yaroslavl State University P.G. Demidov

**Frolov D.** — ITMO University

**Goryachkin B.** — PhD in Engineering, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University

**Gulyaev V.** — Postgraduate student, Far Eastern Federal University

**Gusak Ye.** — Postgraduate student, Volgograd State Agrarian University

**Gusenkadieva K.** — postgraduate student, Dagestan state medical university

**Iureva A.** — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian University of Medicine

**Iureva S.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Northern State Medical University»

**Ivanchina O.** — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volga State Transport University

**Kachalov S.** — Graduate student, MIREA — Russian Technological University

**Kapralov S.** — Doctor of Medicine Sciences, associate professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

**Karpin V.** — Doctor of Medicine Sciences, professor, Surgut state university

**Kharitonov A.** — PhD, engineer, practice docent, ITMO University

**Khlopina I.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Northern State Medical University»

**Khmara A.** — Candidate of Medical sciences, surgeon of thoracic surgical department, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

**Khovaeva Ya.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner

**Kobets V.** — Medical Academy, Crimean Federal University

**Kravchenko A.** — Postgraduate student, Stankin Moscow State Technical University

**Krepak I.** — postgraduate student, Financial University under the Government of the Russian Federation

**Kuzmin N.** — Graduate student, MIREA — Russian Technological University

**Latyushina L.** — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, South Ural State Medical University, Chelyabinsk

**Lazarchik T.** — doctor-otorhinolaryngologist, Candidate of Medical Sciences, Clinical Hospital No 1 of Department of Presidential Affairs

**Likhachev A.** — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Northern State Medical University»

**Lukashova K.** — Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «N.I. Pirogov Russian National Research Medical University»

**Malysheva L.** — Candidate of Medical Sciences, South Ural State Medical University, Chelyabinsk

**Martynova P.** — Bauman Moscow State Technical University

**Maslyakov V.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky; Doctor of Medical Sciences, Professor, Medical University «Reaviz», Saratov

**Mityushin A.** — surgeon, implantologist, postgraduate student, Implantology of MONIKI

**Mohamed Douache** — graduate student, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

**Movsisyan L.** — Postgraduate student, Russian Technological University of MIREA

**Murashkin I.** — Full Stack Quality Assurance (QA) Engineer (VK), master's student, Adyghe State University (ASU), Maikop

**Neklyudov A.** — candidate of technical sciences, associate professor, National Research University, Moscow Power Engineering Institute

**Olimpiev S.** — postgraduate student, National Research University, Moscow Power Engineering Institute

**Orevkov E.** — Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner»

**Osinkina T.** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, «Orenburg State Medical University»

**Pelishenko T.** — doctor-otorhinolaryngologist, Candidate of Medical Sciences, manager of office of otorhinolaryngology and maxillofacial surgery Clinical Hospital No 1 of Department of Presidential Affairs

**Perlin L.** — Moscow State Technical University names Bauman

**Poddubnaya A.** — Yaroslavl State University P.G. Demidov

**Polidanov M.** — research department specialist, University «Reaviz», Saint Petersburg

**Polyakov A.** — Engineer, Computing Center, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences

**Polyakova K.** — Far Eastern State Transport University

**Proshina M.** — Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «N.I. Pirogov Russian National Research Medical University»

**Rasulov I.** — Doctor of Medical Sciences, the associate professor, Dagestan state medical university

**Rogov V.** — ITMO University

**Ronkin M.** — Docent, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

**Roshchin E.** — Candidate of Medical Sciences, Chief Physician. Dentist-orthopedist, dentist-orthodontist, SDI Dent Clinic

**Sachkov D.** — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Digital Technologies, Irkutsk State University of Railway Transport

**Sashkina T.** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «N.I. Pirogov Russian National Research Medical University»

**Semendyaev R.** — Ph.D., researcher at the department of innovative technologies and digital systems of the branch of JSC Rosseti STC – SibNII

**Shirokova E.** — Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University»

**Shishkin Yu.** — Candidate of Technical Sciences, Head of Informatization Department, Associate Professor, Irkutsk State University of Railway Transport

**Shuvalova O.** — Candidate of Medical Sciences, Surgut state University

**Shvedova A.** — Postgraduate student, Krasnoyarsk State Medical University named after Professor V.F. Voyno-Yasenetsky

**Sinagatullin F.** — Ufa State University of Science and Technology

**Skapkareva V.** — graduate student, South Ural State Medical University, Chelyabinsk

**Skvortsov K.** — Programmer, Federal State Budgetary Institution «NMIC of Endocrinology»

**Smolentseva T.** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Technological University of MIREA

**Solovyova I.** — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk State Medical University named after Professor V.F. Voyno-Yasenetsky; pulmonologist, Department of quality of medical care, KGBUZ «Regional Clinical Hospital», Krasnoyarsk

**Strinkevich A.** — Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner»

**Tarasov V.** — Russian Technological University, Moscow State Technical University of Radio Engineering, Electronics and Automation

**Ulmasov A.** — Volgograd State Medical University, Volgograd

**Volkov K.** — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

**Vorobev D.** — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Zavjalov A.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, MIREA - Russian Technological University

**Zhi RuiPeng** — Tomsk Polytechnic University

**Zhuo Tingting** — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

## Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

**За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.**

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

### Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Литература составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- ◆ Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

### Правила написания математических формул.

- ◆ В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- ◆ Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- ◆ Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

### Правила оформления графики.

- ◆ Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- ◆ Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные — 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» ( e-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru) ).